سلسلة : البيـــــئة و التـــلوث
العدد (٣)

تلـــوث التـــــــربة

دكتور
السيد أحمد الخطيب
Ph. D. University of W. Virginia (USA)
أستاذ علوم الأراضى و المياة – كلية الزراعة – جامعة الإسكندرية
و الحائز على
جائزة الدولة التشجيعية فى العلوم الزراعية عام ١٩٩٣
و نوط الإمتياز من الطبقة الأولى

٢٠٠٤

المكتبة المصرية
للطباعة والنشر والتوزيع
٣ ش أحمد ذو الفقار – لوران الإسكندرية
تليفاكس : ٠٠٢/٠٣/٥٨٤٠٢٩٨
محمول : ٠١٢٤٦٨٦٠٤٩

بسم الله الرحمن الرحيم

" ظهر الفساد فى البر والبحر بما كسبت أيدى الناس ليذيقهم بعض الذى عملوا لعلهم يرجعون ".

الروم (٤١)

صدق الله العظيم



مقدمة

التلوث البيئي يمثل أحد المشكلات الهامة التي تواجه البشرية في عصرنا الحاضر نتيجة للنشاط الإنساني المتزايد في كافه مجالات الحياة . ولأن التلوث البيئي له أبعاد خطيرة على صحة الإنسان فإن قضيه التلوث أصبحت تمثل أولوية من أولويات العصر وستظل من أهم الموضوعات التي تشغل فكر العالم في القرن الواحد والعشرون .

ولكي تستعرض معا سلم تصاعد المشاكل البيئية والتلوث فأننا محتاجون بداية إلى توضيح الإطار الذي تنشا فيه هذه المشاكل على مختلف المستويات البيئية وبتعبير أدق على المحيط الحيوي مائة وهواؤه وأرضه . ولقد عرف العالم الروسى فرنادسكى vernadsky المحيط الحيوي بأنه ذلك الحيز على كوكب الأرض الذي توجد فيه الحياة بمختلف أنواعها بصورة طبيعية ويشمل الطبقات السفلي من الغلاف الجوى وسطح الأرض من أعلى إلى أسفل وما يشتمله من جبال وسهول ووديانٍ وتحت سطح الأرض والمحيط المائي بأنهاره وبحيراته وبحارة ومحيطاته فالمحيط الحيوي إذن هو مصدر كل المدخلات التي نحتاج إليها والمصب التي تنتهي إليها كل المخرجات الناجمة عن العمل على تدبير احتياجاتنا . ويحتوى المحيط الحيوي على وحدات كل وحدة تمثل نظام بيئى يحتوى على الكائنات الحيه وعناصر غير حيه والطاقة . يجمع بين هذه العناصر جميعا عمليات بيئية وحيوية تنظم العلاقات فيها وتستوفى الترابط بينها في إطار التوازن الذي يحفظ للنظام البيئي صحته . ويمكن للنظام البيئي أن يستوعب كميات معينة من المخلفات دون أن يتدهور حالة لذلك علينا عدم تجاوز قدرة النظام البيئي على هضم المخلفات التي نقذف بها فيه حتى لا

يتلوث تلوثاً يضر بالإنسان والحيوان على حد سواء.

نص ميثاق اليونسكو الذي صنع في أعقاب الحرب العالمية الثانية بأن " الحرب تبدأ في عقول الناس" وبالتبعية وبالقدر نفسة فإن الحرص على سلامة البيئة والوعى بمقتضيات هذه السلامة يبدآن في عقول الناس . لذلك فإن رفع المستوى التعليمي والثقافي وتنمية الوعي البيئي للأفراد هي مسئوليه جماعية يتطلب الاقتناع التام بمسئولية الأفراد تجاه البيئة وحرصهم على سلامتها وصحتها .

وواقع مشكلة التلوث البيئي – كما نراها – يتمثل في أن قسما كبيراً من سكان الدول النامية لا يزال بعيداً كل البعد عن قضايا البيئة وللأسف الشديد فإن هذا القسم يشمل الأفراد الذين يسيئون إلى البيئة في جزيئات حياتهم اليومية وكذلك المسئولون اللامبالين بمراعاة الاعتبارات البيئية في أعمال الأجهزة والمؤسسات التي يرعونها .

من أجل ذلك أيها القارئ الكريم فلقد قام الكاتب بإصدار سلسلة " البيئة والتلوث" بهدف تنمية الوعي البيئي لدى الأفراد في مجتمعنا واجتذاب القراء للتعاطف والاهتمام بقضايا البيئة والمشاركة في الحفاظ عليها وأيضاً سحب الأفراد من مساحة اللامبالين بالبيئة إلى جيش الداعين إلى صوبها .

ويتناول الكتاب الثالث فى هذه السلسلة المعلومات الهامة عن تلوث التربة ويشتمل على ثلاثة فصول يتناول الفصل الأول منها التربة ومكوناتها الأساسية ومركز النشاط فيها أما الفصل الثانى فيتناول ملوثات التربة العضوية وغير العضوية ومصادر هذه الملوثات.يتعرض الفصل الثالث إلى تقنيات إزاله الملوثات من التربة فى مواقع التلوث وبعيدا عن مواقع التلوث كما يتعرض هذا

الفصل أيضاً إلى كيفية معالجة الأراضى الملوثة بإستخدام النباتات .

أسال الله أن يتحقق الهدف المنشود من تأليف هذا الكتاب وأن يجـد منـه القراء على اختلاف اهتماماتهم العون والفائدة .

والله ولى التوفيق ،،،

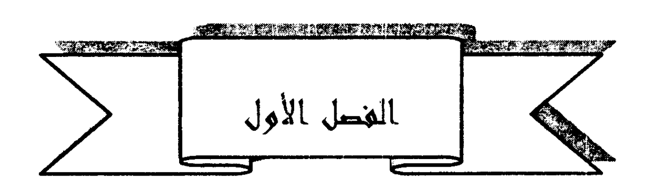
أ.د السيد أحمد الخطيب

الإسكندرية ٢٠٠٤



المحتويات

الموضوع	الصفحة

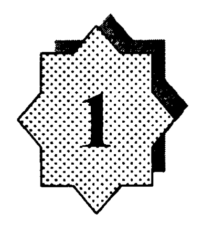


الأراضى والمكونات

Soil and Constituents

- المفهوم الحديث للتربه
- قطاع التربه
- الأتربه المعدنيه والأتربه العضويه
- المكونات الأساسية للأتربه المعدنيه
- التفاعل بين مكونات التربه
- صلاحية العناصر الغذائيه الأساسية





الأراضى والمكونات
Soils and Constituents

يعتمد نمو وتقدم البشريه بدرجة كبيرة على الاتربه وبالتالى فـإن الأتربـه الجيدة وطريقة أستخدامها تتوقف على البشر الذين يعيشون عليها . فالأتربه هى عبارة عن أجسام طبيعية تنمو فيها النباتات وتعتبر نقط البداية لأى زراعـات ناجحة .

وتعنى الاتربه أشياء كثيرة للبشريه فهى تعتبر أساس للمبانى المقامه عليـها كالمنازل والمصانع وغيرها وتتحدد صلاحية الأتربه كأساسات للمبانى المقامـه عليها تبعا لنوع التربه . أيضا تستخدم الأتربه لعمل الطـرق ويتحـدد عمـر الطرق تبعا لنوع التربه المستخدمه . كما تسـتخدم الأتربـه كفلـتر طبيعـى لامتصاص مخلفات الصرف الصحى والصناعى ولسـوء الحـظ فـإن سـوء إستخدام الأتربه وعدم الحفاظ عليها قد يؤديان إلى غسيل هذه الأتربه وترسيبها فى مجارى الانهار مما يعيق استخدام هذه الانهار بالإضافه إلى مايترتب علـى ذلك من تدهور فى صفات الماء . ومما سبق يتضح أهمية الأتربـه لقـاطنى المدن بنفس درجة أهميتها لقاطنى القرى .

والتمدن Civilization بشكل عام يعتمد على مدى جودة التربه فالمدنيـــات والإمبراطوريات القديمة التى نشأت حول نهر النيل إعتمدت بشكل مكثف فـــى نشاتها على جودة الأتربه الخصبة لدلتا النهر والمقدره العالية لهذه الأتربه على إنتاج الغذاء . فقد ساعد ثبات خصوبة أتربة الدلتا نتيجة الفيضان وما يحمله من طمى فى الحفاظ على قدرة هذه الأتربه فى إنتاج الغذاء وما ترتب على ذلك من بناء مجتمعات منتظمـــة تتميز بالثبات وهذا بدوره ساعد على تطور ونمـــو هذه المجتمعات . أيضـــاً يجب ألايغــيب عن الأذهـــان أن أحـــد أســـباب تدهـــور المدنيـــات القـــديمة هـــو عـــدم الاستخدام الأمثل للأتربة .

واليوم نجد أن كثير من عامة البشر لا يدركون مدى أهمية الأتربه علـــى المدى الطويل فكثيرا منهم يجهلون أهمية الأتربه وماتعنيه لجيل اليوم والأجيال القادمة .

المفهوم الحديث للتربة Modern Concept of Soil

نشأ المفهوم الحديث للتربه نتيجة الدراسات العلميه المكثفه على مدى عقدين من الزمان ويمكن النُظر إلى التربه بمنظورين : ـ

المنظور الأول :

يعامل التربه على أساس أنها جسم طبيعى نشأ طبيعيـــاً naturally نتيجـــة عوامل التجويه الطبيعية والبيوكيميائيه .

المنظور الثانى :

يعامل التربه على أنها بيئه طبيعية لنمو النبات .

وهذين المنظورين يوضحان أن الأتربه يمكن دراستها من وجهة النظر البيدولوجيه pedology وأيضا من وجهة النظر الايدافولوجيه Edaphology .

: Pedology

هى كلمة مشتقه من اللفظ اليونانىPedon ويعنى تربه Soil وتعرف بأنها دراسة التربه كجسم طبيعى وفى دراسة التربه من هذا المنظور لا يتم التركيز على الاستخدام العملى للتربه وإنما يتم دراسة نشأة الأتربه وتقسيمها ووصفها فى الحاله الطبيعية وهذه الدراسات ذات أهمية كبيرة للمزارع وأيضا لمهندسى الطرق والإنشاءات.

: Edaphology

هى كلمة مشتقه من اللفظ اليونانى edaphos ويعنى أيضاً التربه Soil وتعرف بأنها دراسة التربه كبيئه لنمو النبات وفيها يتم التركيز على دراسة أسباب ومعوقات إنتاجية التربه والبحث عن الوسائل اللازمه للحفاظ على التربه وتعظيم إنتاجها أى أن الهدف الرئيسى فى هذه الدراسة هو إنتاج الغذاء والألياف من التربه .

وفى هذا الكتاب سوف يتم التركيز على وجهة النظر الايدافولوجيه كما سوف تستخدم وجهة النظر البيدولوجيه لفهم نشأة وتكوين التربه وتقسيماتها المختلفة .

التربه فى الحقل

التربه والريجوليث Soil Versus Regolith

يعرف الريجوليث Regolish بأنه المواد المفتته التى تعلو الصخور وذلك

عند أخذ قطاع رأسى فى القشرة الأرضية (شكل 1-1) ويتراوح سمك المــواد المفتته من سنتيمترات حتى عشرات الامتار . وتتكون المواد المفتتــه نتيجــة تجويه الصخور الموجوده أسفلها أونتيجة النقل بواسطة الريــاح أو المــاء أو الجليد ثم ترسيبها بعد ذلك فوق الصخور الموجودة أسفلها . وبالتالى نجــد أن مكونات الريجوليث تختلف من مكان إلى آخر .

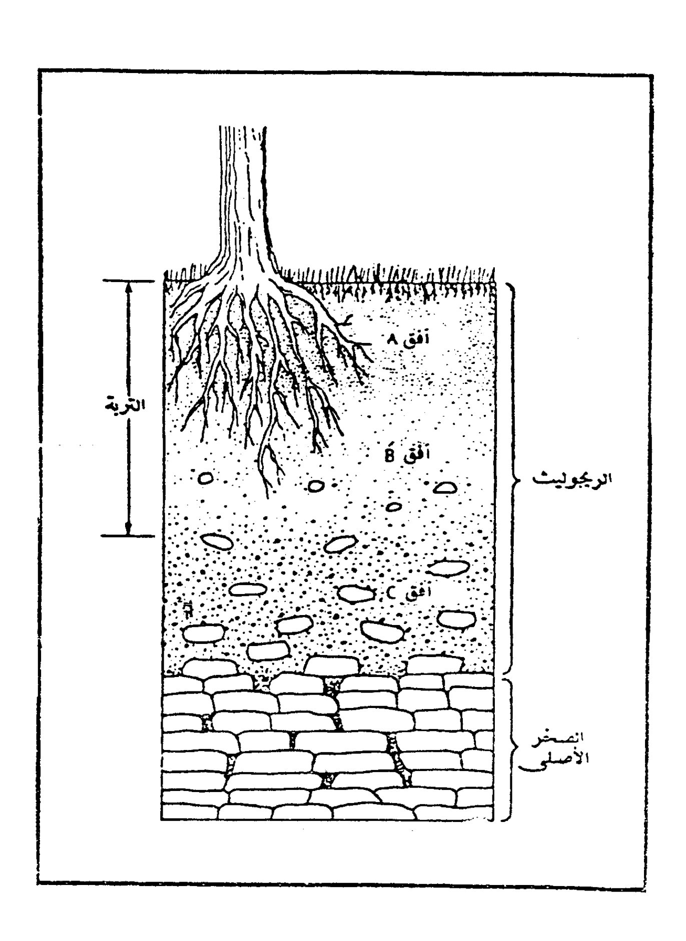
ويلاحظ إختلاف الطبقة السطحية (1-2m) من الريجوليث عن الطبقة غــير السطحية حيث تتميز بأرتفاع محتواها من المادة العضوية نتيجة لوجود جــذور النباتات فى هذه المنطقة كما أن بقايا النباتات الموجودة على السطح يمكــن أن تنتقل إلى أسفل بفعل الديدان الأرضية وتتحلل بفعل ميكروبات التربــه أيضــا الجزء السطحى من الريجوليث يكون أكثر عرضه للتجويه من الجــزء تحــت السطحى . وإنتقال نواتج التجويه إلى أسفل يؤدى إلى أختلاف خواص الطبقات فى الاتجاه الرأسى ويتكون ما يسمى بالآفاق horizons .

قطاع التربه والطبقات المكونه له

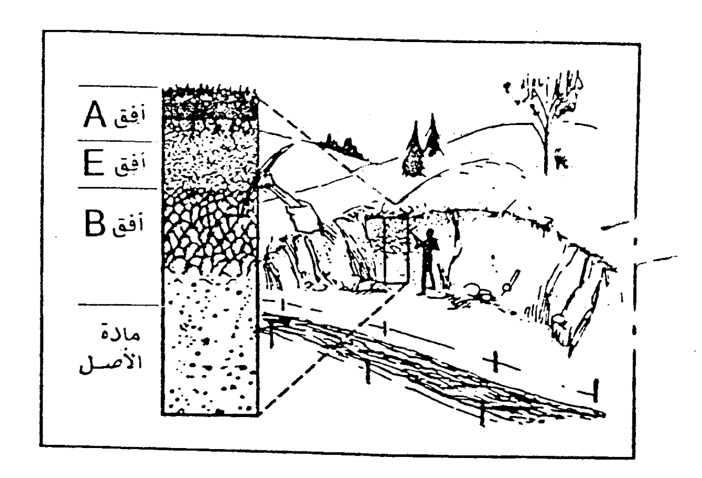
The Soil Profile and its layers (Horizons)

التربه هى الطبقه السطحية من القشرة الأرضية الناتجه من تفتت الصخــور وأنحلالها أو أنحلال بقايا المادة العضوية أو منهما معا. وتعتبر التربــــه هـــى الطبقه الصالحة من الوجهة الحيويه والكيميائيه والطبيعيه لأن تكون مهدا للنبات وبفحص قطاع رأســى فــى التربــــة يلاحــــظ وجــــود طـــبقــــــات ممـــــيـــزة مخــتــلفـــة الخـــواص (شكل 1-2) ويطلق على القطاع الرأسى إسم Profile أما الطبقات الأفقيه الموازيه لسطح التربه والمكونه للقطاع فيطلــق عليها أفاق horizons وتتميز الأتربه ذات التطور الجيد باحتوائها علـــى أفـــاق مميزة وتختلف طبيعة وصفات ومكونات هذه الأفاق تبعا لكيفية تطور التربه .

ولذلك نجد أن كل تربه لها أفاق مميزة خاصة بها ويمكن أستخدام هذه الأفـــاق المميزة لتقسيم وحصر الأتربه كما يمكن استخدامها فى تحديد الاستخدام الأمثـل لهذه الأتربة.



شكل (1-1) : رسم تخطيطى يوضح الريجوليث ، الترب ، الصخور الموجودة أسفلهما وفى بعض الأحيان نجد أن سمك الريجوليث يكون ضعيف جـــدا وذلــك لتحولـــه بالكامل إلى تربه وفى هذه الحاله نجد أن الصخور تقع مباشرة أسفل التربه .



شكل (2-1) : يمثل قطاع رأسى فى التربه ويوضح الطبقات المكونه للقطاع . ويطلق على الطبقة السطحية إسم أفق A ويتميز هذا الأفق بارتفاع المادة العضويه فيه كما أن لونه يكون داكنا وبدرجة أكبر من الآفاق غير السطحية . بعض مكونات أفق A مثل الطين الناعم يمكن أن تتحرك لأسفل من خلال حركة الماء خلال القطاع أما الأفق تحت السطحى فيسمى أفق B ويتميز بتجمع الطين واختلاف صفات الطبقات فى القطاع من تربه إلى أخرى جعل من الممكن عمل نظام تقسيمى للأراضى .

تتميز الآفاق السطحية فى قطاع التربه باللون الداكن نتيجة تجمع المواد العضوية الناشئة من تحلل جذور النباتات وبقايا النبات الموجودة على السطح كما أن درجة تجويه الأفاق السطحية تكون أعلى منها فىالأفاق تحت السطحية وغالبا ما يحدث إنتقال لنواتج التجويه من الأفاق السطحية إلى الأفاق تحت السطحية ويطلق على الأفق السطحى أسم أفق A .

تحتوى الآفاق تحت السطحية على محتوى أقل من المادة العضوية بالمقارنة بالآفاق السطحية . وتتميز الأفاق تحت السطحية بتجمع كميات مختلفة من المواد مثل معادن الطين السليكاتيه وأكاسيد الحديد والألومونيوم والجبس وكربونات الكالسيوم. وهذه المواد قد تنتقل من الطبقات السطحية إلى أسفل بواسطة الماء أو قد تتكون فى مكانها بفعل عمليات التجويه ويطلق على الأفق تحتِ السطحى إسم أفق B .

وتتكون أفاق B , A بفعل عوامل وعمليات تكوين الأراضى وتشمل عمليات الأنحلال البيوكميائى والتجويه والتخليق . وتعتبر هذه الأفاق دليل واضح على نشأة وتطور التربه من مادة الأصل التى تكونت منها .

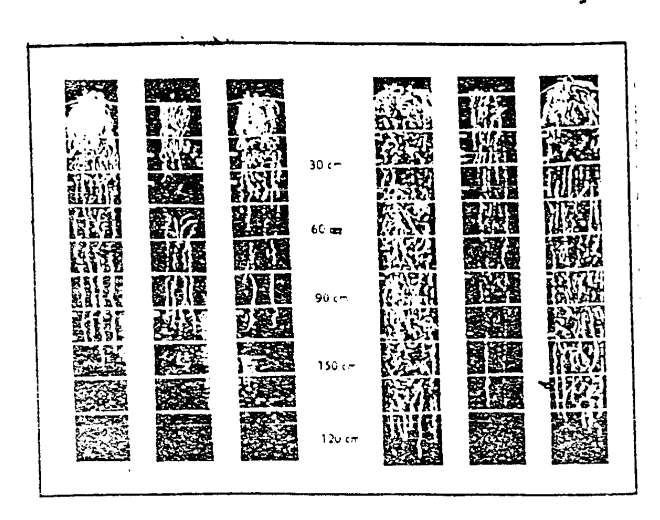
يطلق على الجزء العلوى من القطاع (أفق A ، أفق B) إسم طبقة الاستزراع Solum (وهى كلمة لاتينيه تعنى التربه) وتختلف سمك طبقة الاستزراع Solum من تربه إلى أخرى تبعا لدرجة التجويه فتكون حوالى 1-2 m فى أراضى المناطق الباردة وأكثر عمقا من ذلك فى الأتربه المناطق الأستوائيه (تجويه شديدة)

سطح التربه وتحت سطح التربة Topsoil and Subsoil

ينتج عن حرث التربه وزراعتها تعديل للحاله الطبيعية للجزء العلوى (12-18 cm) من الطبقة السطحية للتربه ويطلق على هذا الجزء المعدل إسم سطح التربه Topsoil أو قد يطلق عليه Furrow Slice فى حالة حرث وزراعة التربه فى خطوط . ويعتبر سطح التربه هو المنطقة الأساسيه لتطور جذور النباتات المنزرعه بها فهى تحتوى على العديد من العناصر الغذائية الصالحة لنمو النبات كما أنها ايضا تمد النبات بالماء اللازم لنموه . ويمكن للعمليات الزراعيه من خدمة وخلافه الحفاظ على سطح التربه بصورة مفككه تسمح

بمرور الهواء والماء اللازمين لنمو النبات كما يمكن إضافة الأسمدة الكميائية إلى سطح التربه وذلك لتحسين خصوبتها وبالتالى تحسين مقدرتها على إنتاج المحاصيل المختلفة .

وتحت التربه Subsoil يتكون من الطبقات التى تقع أسفل سطح التربه Top soil وهى بالقطع لاتتأثر بعمليات الحرث . وتؤثر طبقة سطح التربه على إنتاجيه المحاصيل نتيجة إختراق جذور النباتات لهذه الطبقة وأيضا لما تحتويه هذه الطبقة من ماء وعناصر غذائية (شكل 1-3) . فى بعض الأحوال قد يعيق عدم نفاذيه تحت السطح حركة مياه الصرف إلى أسفل وبالتالى فإن نمو النبات يتأثر سلباً نتيجة لذلك. وهذه الملحوظة ذات قيمة عمليه كبيرة لأن تحديد وكيفية استخدام واستزراع الأتربه يتوقف إلى حد كبير على صفات الطبقات تحت السطحية .



شكل (1-3) : صورة توضح نمو الجذور فى قطاع التربه ويلاحظ غزارة نمو الجذور فى التربه المسمده (يمين الصورة) بالمقارنة بالجذور الناميه فى التربه غير المسمده (يسار الصورة).

الأتربه المعدنيه (غير العضويه) والأتربه العضويه

Mineral (Inorganic) and Organic Soils

يعتبر القطاع الأرضى الذى تم وصفه سابقا ممثلا للقطاع الأرضى الخاص بالأتربه ذات التركيب المعدنى أو غير العضوى . وعموما فإن الطبقات السطحيه للأتربه المعدنيه تحتوى على نسبة منخفضه من المادة العضويه تتراوح من ١ ـ ٦% وعلى النقيض من ذلك فإن الأتربه التى يسود تركيبها المادة العضويه تسمى الأتربه العضويه Organic Soils .

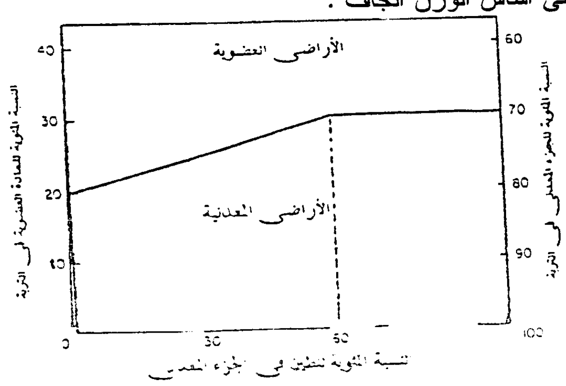
تعريف التربه العضويه :

أ . فى حالة تشبع التربه بالماء لفترة طويلة

تعرف التربه العضويه فى هذه الحاله بأنها التربه التى تحتوى على الأقل 20% مادة عضويه على أساس الوزن الجاف وذلك اذا كانت التربه لاتحتوى على طين أما اذا كان الجزء المعدنى من التربه يحتوى على 60% طين فإن التربه العضويه يجب أن تحتوى على الأقل 30% مادة عضويه على أساس الوزن الجاف .

ب . فى حالة عدم تشبع التربه بالماء

فى هذه الحاله فإن التربه العضويه يجب أن تحتوى على الأقل 33.3 مادة عضويه على أساس الوزن الجاف .



وتعتبر الأتربه العضويه من الأتربه عالية الأنتاجيه وذلك عند تحسين حالـة الصرف وهى غالبا ما تستخدم لزراعة المحاصيل التى تدر عائدا نقديا كبــيرا مثل الخضروات . وتتواجد الأتربه العضويه فى المناطق الغدقــه وبمســاحات كبيرة فى ولايــات ميتشجــان، ويسكونسن ، مينوســـوتا بالولايــات المتحدة الأمريكية. والعائد الأقتصادى للأتربه العضويه يكون كبيرا حيث يمكن حفـــر الترسيبات العضويه ونقلها واستخدامها كأسمدة عضويه فى حدائـــق المنـــازل وكمادة مالئه لزراعة الأصص. وحيث أن مساحة الأتربه المعدنيه تمثل الغالبيه العظمى من مساحة الأتربه فى العالم فإن هذا الكتاب سوف يتنـــاول الأتربـــه المعدنيه تفصيليا .

المكونات الأساسيه للأتربه المعدنيه

Major Components of Mineral Soils

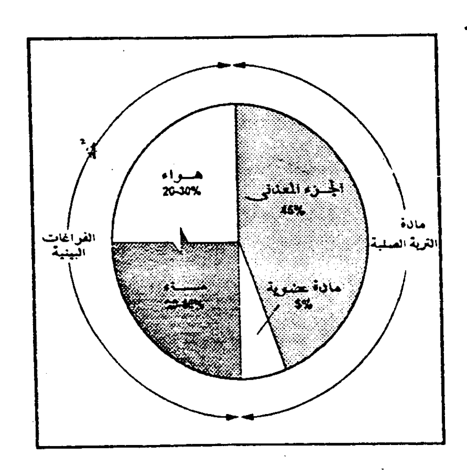
تتكون الأتربه المعدنيه من أربع مكونات أساسيه هـــى : مكونـــات مـــواد معدنيه أو غير عضويه ، مادة عضويه ، ماء ، هواء ويوضح شكل رقم (4-1) النسب الحجميه لهذه المكونات فى تربه سطحيه لوميه تحت ظروف جيدة لنمـو النبات . ويلاحظ أن هذه التربه المعدنيه تحتوى على 50% من حجمـــها مـــواد صلبه ، 50% فراغات بينيه مملوءة بالماء والهواء . وتمثل الحبيبات الصلبـــه المعدنيه حوالى 45% من حجم التربه بينما تمثل الماده العضويه حوالى 5% من حجم التربه . عند الظروف المثلى للرطوبه الأرضيه يكون حوالى 25% مـــن الفراغات البينيه مماوءة بالماء وحوالى 25% من الفراغات البينيه مملوءة هواء علما بأن هذه النسب عرضه للتغير السريع تبعا لحالة الرطوبـــه الأرضيـــه . والجدير بالذكر أن المكونات الأساسيه فى التربه تتواجد فى صـــورة مختلطـــه حيث أن هذا الاختلاط يسمح بتفاعل هذه المكونات مع بعضها مما ينتج عنـــه اختلافات كبيرة فى البيئه اللازمه لنمو النبات .

ويختلف التركيب الحجمى لتحت سطح التربه عن مثيله فى سطح التربـــــه فنجد أن تحت سطح التربه يحتوى على نســـبه أقـــل مـــن المـــاده العضويـــه والفراغات البينيه وتكون نسبة الفراغات البينيه المملوءة بالماء أكبر من نســـبة الفراغات البينيه المملوءة بالهواء .

(أ) المكونات المعدنيه (غير العضويه) فى التربه

Mineral (Inorganic) Constituents in Soils

تختلف المكونات غير العضويه فى الأتربه إختلافـــا كبـــيرا فـــى الحجـــم والتركيب . فهذه المكونات تتراوح من قطع صخريه مفتتـــه Fragments إلـــى معادن مختلفة الأنواع والتركيب . وغالبا ما تتكون القطع الصخريه المفتـــــته من تجمعات من المعـــــادن وهـــذه القطع المفتته هى عبارة عن بقايا الصخور التى يتكون منها الريجوليث Regolith وبالتالى التربه بعد تعرضـــــها لعوامـــل التجويه المختلفه .



شكل (1-4) : التركيب الحجمى لتربه لوميه سطحيه تحت ظروف ملائمـــه لنمـــو النبـــات ويتوقف مدى ملائمة التربه لنمو النبات على نسب الفراغات البينيه المملوءة بالهواء والماء .

والحبيبات المعدنيه الموجودة فى التربه تختلف اختلافا كبيرا فى الحجم فنجد أن التربه تحتوى على ما يلى :

١. قطع حصويه ذات حجم كبير نسبيا .

٢. حبيبات الرمل Sand وهى حبيبات أصغر حجما من الحصى ومدى قطـــر حبيبات الرمل (0.05 - 2mm) ويمكن مشاهدة هذه الحبيبات بالعين المجردة.

٣. السلت Silt وهى حبيبات أصغر حجـــما من الرمل مدى قطـــر حبيبـــات الســـلت (0.002-0.05mm) ويمكـــن مشـــاهدة هـــذه الحبيبـــات بواســـطة الميكروسكوب .

٤. الطين Clay : وتعتبر أصغر الحبيبات المعدنيه الموجوده فى التربه وقطـــر حبيبات الطين (0.002mm >) ويمكن مشاهدتها بالميكرسكوب الالكترونى . وتتميز حبيبات الطيـــن ذات القطـــر الاصغـــر مـــن (Imicrometer lum) بامتلاكها خاصية الغرويات (سوف يتم الحديث عنها فى الفصول القادمه).

ويوضح الجدول (1-1) الخواص العامه للحبيبات المعدنيه فى التربه ويتضح من الجدول أن الخواص الفيزيائيه للتربه وكذلك قدرة التربه على إمداد النبـــات بالعناصر الغذائيه يتوقف إلى حد كبير على حجم الحبيبات المعدنيه الموجـــوده فى التربه .

جدول (1-1) : الخواص العامه لحبيبات التربه المعدنيه

الخاصيه	رمل (0.05-2mm)	سلت (0.002-0.05mm)	طين (< 0.002mm)
١.طريقة الفحص	العين المجرده	ميكروسكوب	ميكروسكوب الكترونى
٢.المعادن السائدة	أوليه	أوليه وثانويه	ثانويه
٣.تجاذب الحبيبات مع بعضها.	منخفض	متوسط	عالى
٤.تجاذب الحبيبات مع الماء.	منخفض	متوسط	عالى
٥.القدرة على مسك العناصر الغذائيه وإمداد النبات بهذه العناصر .	منخفضه جدا	منخفضه	عاليه
٦.خواص التماسك عندما تكون التربه رطبه.	مفرقه	ناعمه	ملتصقه
٧.خواص التماسك عندما تكون التربه جافه.	متفرقه جدا	تشبه البودره	كتل صلبه

(i) المعادن الأوليه والمعادن الثانويه

Primary and Secondary Minerals

تعرف المعادن التىلم يتغير تركيبها منذ خروجها من اللافا المنصهرة molten lava (مثل الكوارتز ــ ميكا ــ فلسبارات) باسم المعادن الأوليه Primary minerals وهذه المعادن تسود فى الجزء الرملى والسلتى من التربه .

ويعتبر الجزء المعدنى فى التربه هو المصدر الرئيسى للعناصر الغذائية الضروريه لنمو النبات . وبالرغم من وجود جزء كبير من هذه العناصر فى التركيب البللورى للمعادن فإن الجزء المتبقى والذى يكون موجودا على سطوح حبيبات الطين يعتبر فعالا وهاما لنمو النبات حيث أن جذور النبات تستطيع استخلاص هذه العناصر من على سطوح الحبيبات بواسطة ميكانيكيات خاصة سوف يتم الحديث عنها فى الفصول القادمة .

(ii) بناء التربه Soil Structure

بناء التربه هو نظام ترتيب حبيبات الرمل والسلت والطين فـــى التربـــه أو اتحاد هذه الحبيبات فى صورة حبيبات مركبه Aggregates وما ينتج عن ذلـــك من توزيع هندسى للحبيبات والفراغات فى التربه .

وبناء التربه يحدد إنتقال الماء والهواء فى التربه وما يترتب على ذلك مـــن تأثير على نمو جذور النبات وأيضا على نشاط الكائنات الحيه الدقيقة .

(ب) مادة التربه العضويه Soil Organic Matter

تتكون مادة التربه العضويه من بقايا النباتات والحيوانات المتحلله جزئيـــا وبعض المركبات العضويه المخلقه بواسطة ميكروبات التربه . وتكـــون هـــذه المواد العضويه فى حاله مستمرة من التحلـــل والتحليـــق بواســـطة الأحيـــاء الموجودة فى التربه ولذلك فإن مادة التربه العضويه يعتبر مكون إنتقـــالى فـــى التربه قد ينتهى فى فترة تتراوح من ساعات إلى مئات السنين . ولذلـــك فـــإن الحفاظ على مادة التربه العضويه يستلزم الأضافه المســـتمرة لبقايـــا النباتـــات والحيوانات إلى التربه .

ومحتوى التربه المعدنيه من المادة العضويه يعتبر صغيرا فهو يتراوح مـــن 6% ــ1 بالوزن فى سطح التربه ويكون أقل من ذلك تحـــت ســـطح التربـــه . وبالرغم من صغر هذه النسبه فإن تأثير الماده العضويه على خواص التربـــه وبالتالى على نمو النبات هاما للغايه . وتعمل مادة التربه العضويه على ربـــط وتجمع الحبيبات المعدنيه فى التربه ببعضها وبالتالى فهى المسئوله عن خلـــق الظروف الملائمه لنمو النبات . أيضا وجود المـــاده العضـــويه يـــؤدى إلـــى زيادة مقدرة التربه على الأحتفاظ بالماء. وتعتبر مـــادة التربه العضويه هى

المصدر الرئيسى لعناصر الفوسفور والنيتروجين والكبريت كما أنها المصدر الرئيسى للطاقه اللازمه لميكروبات التربه وما يتبعه من نشاط بيوكيميائى فى التربه .

مادة التربه العضويه تحتوى على مركبات مقاومه للانحلال ويطلق على هذه المركبات بالأضافه إلى بقايا النباتات والحيوانات والمواد المخلقه بواسطة ميكروبات التربه أسم الدبال humus . وهذه المادة تتميز بصغر حجمها (حجم الغرويات) وتكون ذات لون داكن ومقدرة الدبال على مسك الماء والعناصر الغذائيه تفوق تلك المقدرة الخاصة بالطين ولذلك فان وجود كميات صغيرة من الدبال يؤدى إلى زيادة قدرة التربه كبيئه لنمو النبات .

(جـ) ماء التربه ـ المحلول الديناميكى

Soil Water - A Dynamic Solution

سوف نتناول ماء التربه بمفهومين أساسيين يركزان على أهمية هذا المكون لنمو النبات وهما :

١. الماء الممسوك فى مسام التربه وتتوقف درجة مسك التربه للماء على كمية الماء الموجودة فى المسام وأيضا على حجم هذه المسام .

٢. ماء التربه وما يحتوى من مكونات ذائبه فيه بما فى ذلك العناصر الغذائيه (كالسيوم ـ بوتاسيوم ـ فوسفور ـ نتروجين وخلافه) ويطلق عليه المحلول الأرضى Soil Solution والذى يعتبر الوسط الذى يستمد منه النبات معظم العناصر الغذائيه اللازمه لنموه .

عندما يكون المحتوى الرطوبى فى التربه مثاليا لنمو النبات (شكل 1-4) فإن الماء الموجود فى المسام ذات الأحجام الكبيرة والمتوسطه تكون لـه المقدرة على الحركه فى التربه ويمكن للنبات الاستفاده منه . وحركة الماء قد تكون إلى

أسفل نتيجه للجاذبيه الأرضيه أو إلى أعلى لتعويض الماء المفقــود بواسـطة البخر أو إلى اى اتجاه ناحية جذور النباتات حيث يقوم الجذور بامتصاصــه . وعلى الرغم من أن النبات النامى يمتص جزء كبير من ماء التربه فإن البعض منه يظل موجودا فى المسام الصغيره وكغشاء حــول الحبيبــات وذلــك لأن حبـيـبات التربه تمسك هذا الماء بقــوه كبيره وبالتــالى تـتـنـافس مــع النبات فى الحصول على الماء ولذلك فإن الماء الموجود بالتربه لا يكون متاحـا بالكامل للنبات فحوالى 2/3 – 1/4 الماء الكلى يكون موجودا بالتربه بعد ذبــول النبات وموته ويتوقف ذلك إلى حد كبير على نوع التربه .

المحلول الأرضى Soil Solution

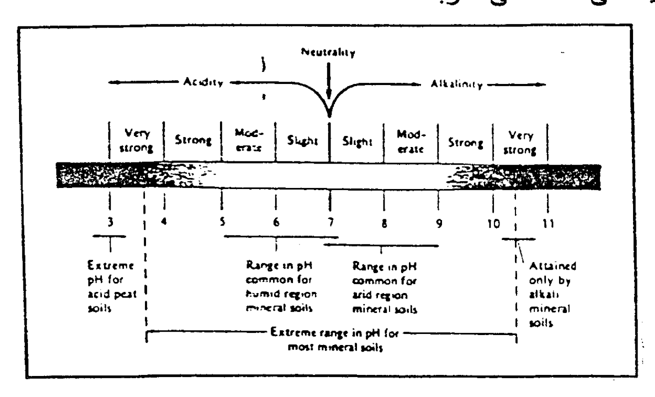
يحتوى المحلول الأرضى على كميات صغيره ولكن معنويه من الأمــلاح غير العضويه والعضويه الذائبه ويشمل ذلك العناصر الضروريه لنمو النبات . ويوضح الجدول (1-2) 17عنصراً أساسيا ومصادر هذه العنــاصر . فــالجزء الصلب من التربه (العضوى وغير العضوى) يقوم بإطلاق هذه العناصر إلـــى المحلول الأرضى ليمتصها النبات بعد ذلك .

والخاصيه الكيميائيه الأخرى الهامه للمحلول الأرضى هو قلويه أو حموضة هذا المحلول حيث أن كثير من التفاعلات الكميائيه والبيولوجيه التى تحدث فــى التربه تتوقف على تركيز أيونات الهيدروجين (H) أو الهيدروكسيل (OH) فى التربه وبالتالى فإن درجة حموضه التربه لها تأثير كبير على ذائبيه العنــاصر الضروريه للنبات مثل الحديد والمنجنيز والفوســفور والزنــك والموليبدنــوم وبالتالى على صلاحية هذه العناصر بالنسبه للنبات .

جدول (2-1) : العناصر الغذائيه الضروريه للنبات ومصادرها

عناصر يحتاجها النبات بكميات صغيرة	عناصر يحتاجها النبات بكميات كبيرة	
من الجزء الصلب من التربه	من الجزء الصلب من التربه	من الهواء والماء
الحديد (Fe)	نيتروجين (N)	كربون (C)
المنجنيز (Mn)	فوسفور (P)	هيدروجين (H)
بورون (B)	بوتاسيوم (K)	أوكسجين (O)
موليبدنوم (Mo)	كالسيوم (Ca)	
نحاس (Cu)	مغنسيوم (Mg)	
زنك (Zn)	كبريت (S)	
كلور (Cl)		
كوبالت (Co)		

وتركيزات أيونات الهيدروجين فى المحلول الأرضى يتم الحصول عليـــها بتقدير درجة الحموضه (pH المحلول) ويوضح الشكل (5-1) مـــدى الــــ pH لأنواع عديدة من الأتربه فى مناطق مختلفه من العالم وســـوف نـــرى فـــى الفصول القادمه أن درجة pH التربه تؤثر بدرجة كبيرة على جميع التفـــاعلات الكيميائيه التى تحدث فى التربه .



شكل (5-1) : مدى الــ pH لأغلب الأتربه المعدنيه بما فى ذلك أتربه المنـــاطق الرطبـــه والمناطق الجافه . كما يوضح الشكل درجة الــــ pH العظمـــى للأراضـــى القاعديه وأقل درجة pH يمكن أن تتواجد فى الاتربه شديدة الحموضه .

(د) هواء التربه ــ المكون المتغير

Soil Air - Another Changeable Constituent

يختلف هواء التربه عن الهواء الجوى فى نواحى عديدة نذكر منها مايلى :

١. هواء التربه يعتبر شديد الديناميكيه حيث يتغير بدرجه كبيره من مكان إلـــى مكان فى التربه الواحده . ففى بعض الأماكن يتم أستهلاك الغازات بواسـطة جذور النبات وميكروبات التربه بينما فى أماكن أخرى يحدث أنطلاق لـــهذه الغازات . ونتيجه لذلك يحدث تعديل كبير فى مكونات هواء التربه .

٢. المحتوى الرطوبى لهواء التربه بوجه عام أعلى من المحتـــوى الرطوبـــى للهواء الجـــوى فالرطوبه النسبيه لهواء التربه يصل إلى 100% عندمـــا يكون المحتوى الرطوبى فى التربه مثاليا optimum .

٣. نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء التربه أعلى مئات المرات مـــن النســبه الموجوده فى الهواء الجوى (0.03%) وبالتالى فإن نسبة الاكسجين فى هواء التربه تقل وقد تصل إلى 10%-5 بينما نسبة الاكسجين فى الهواء الجـــوى تكون حوالى 20% .

ويتحدد محتوى وتركيب هواء التربه تبعا لمحتوى التربه مـــن المـــاء لأن الهواء يحتل مسام التربه غير المملوءة بالماء فبعد الرى أو وســـقوط أمطـــار غزيرة فإن المسام الكبيره تفقد الماء الموجودة بها ويحل محلها الهواء ويلى ذلك فقد الماء من المسام متوسطة الحجم وفى النهايه المسام صغيرة الحجم التى تفقد الماء الموجودة بها نتيجة البخر وإمتصاص النبات للمـــاء . وهــذا الــترتيب المتعاقب للصرف يوضح السبب فى أن الأتربه التى تحتوى على نسبه كبـــيره من المسام صغيرة الحجم تكون رديئه التهويه لأن الماء فى هذه الحاله يكـــون

هو السائد ويصبح محتوى التربه من الهواء قليلا وبالتالى فإن معدل إنتشار الهواء من وإلى التربه للوصول إلى حالة اتزان مع الهواء الجوى يكون بطيئا والنتيجه النهائيه لذلك هو مستوى عالى من ثانى أكسيد الكربون فى التربه ومستوى منخفض من الاكسجين فى التربه وهذه الظروف تعتبر ظروفا غير مثاليه لنمو النبات ولبعض ميكروبات التربه وهذا يوضح العلاقه بين الخواص الفيزيائيه للتربه وتركيب هواء التربه .

(هـ) التربه والكائنات الحيه

The Soil and Living Organisms

تحتوى التربه على أنواع عديدة من الكائنات الحيه تشمل النباتات والحيوانات . وتتراوح أحجام الكائنات الحيه من أحجام كبيره مثل جذور الأشجار والديدان الأرضيه والحشرات إلى أحجام صغيرة جدا مثل البكتريا . ويختلف عدد ووزن الكائنات الحيه من تربه إلى أخرى . فمثلا جرام واحد من التربه قد يحتوى من بضعة مئات الالاف إلى عدة بلايين من البكتريا تبعا للظروف السائده فى التربه . وفى جميع الأحوال فإن كمية الكائنات الحيه بما فى ذلك جذور النباتات تكون كافيه للتأثير على الخواص الفيزيائيه والكيميائيه والبيولوجيه للأتربه .

وتختلف أنشطة الكائنات الحيه فى التربه اختلافا كبيرا فبعض الحشرات والديدان الأرضيه لها القدرة على تفتيت بقايا النباتات ميكانيكيا فقط بينما الكائنات الحيه الدقيقه مثل البكتريا والفطريات والأكيتوميسيتات تكون لها القدرة على تحليل بقايا النباتات تحللا كاملا بالأضافه إلى ذلك فإن تكوين الدبال humus والذى يعتبر أنشط المركبات الموجودة فى التربه كيميائيا وفيزيائيا يعتبر نتاج نشاط الكائنات الحيه الدقيقه.

ونتيجة لعمليات التحلل بفعل كائنات التربه تنطلق العناصر الغذائيه الأساسيه لنمو النبات مثل الفوسفور والنيتروجين والكبريت كما أن بعض الكائنات الحيـه الدقيقه لها القدرة على تغيير حالة الأكسدة والأخـتزال التـى تتواجـد عليـها العناصر الغذائيه بصفه عامه وما يتبع ذلك من تأثير على نمو النبات وأيضـا على صفات التربه .

الطين والدبال (مركزى النشاط فى التربه)

Clay and humus - The Seat of Soil Actioity

يتميز كلا من الطين والدبال بنشاط ديناميكى كبير نظرا لصغر أحجامـهما وبالتالى كبر السطح النوعى لكل وحدة وزن وأيضا نتيجة إمتلاك الطين والدبال شحنات سطحيه قادره على جذب الأيونات الموجبه والسالبه الشـحنه وكذلـك الماء .

وادمصاص الأيونات مثل K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} على سطوح غرويات الطيـن والدبال جعل من الممكن لهذه الأيونات أن تتبـادل exchange مـع الأيونـات المجاورة لها والموجوده فى المحلول الأرضى Soil Solution . فمثـلا أيـون الهيدروجين H^+ الذى يتحرر من جذور النبات إلى المحلول الأرضى يمكـن أن يحل محل (يتبادل) أيون البوتاسيوم (K^+) المدمص على سطح غرويات التربـه. وبالتالى يصبح أيون البوتاسيوم فى المحلول الأرضـى صـالح للأمتصـاص بواسطة جذور النبات . والمعادله التاليه تمثل التبادل الكاتيونى السـابق ذكـره وتوضح أهمية التبادل الكاتيونى لنمو وتطور النبات .

$$\boxed{\text{Colloid}}\ K^+ + H^+(aq) \rightarrow \boxed{\text{Colloid}}\ H^+ + K^+(aq)$$

(adsorbed) (in Soil Solution) (adsorbed) (in Soil Solution)

أيضا يؤثر الطين والدبال على الخواص الفيزيائيه للتربه بدرجه كبيره حيث تعمل السطوح المشحونه كرابط Bridge يربط بين حبيبات التربه وبالتالى يساعد على تكوين وثبات تجمعات الحبيبات Aggregates وأيضا المساميه .

السعه التبادليه والقدره على مسك الماء فى الدبال تعتبر أكبر من مثيلاتهما فى الطين وذلك على أساس الوزن ولكن كبر كمية الطين فى الأتربه بالمقارنه بكمية الدبال تجعل مساهمة الطين وتأثيره على الخواص الكميائيه والفيزيائيه للتربه أكبر من الدبال ولذلك فالأتربه جيدة الانتاج يجب أن تحتوى على كميات متوازنه من الدبال والطين . ومما سبق يتضح أن نمو النبات وتطوره وأيضا إنتاجية التربه تتوقف على محتوى التربه من الدبال والطين والهواء الأرضى والماء الأرضى .

التفاعل بين مكونات التربه لإمداد النبات بالعناصر الغذائيه

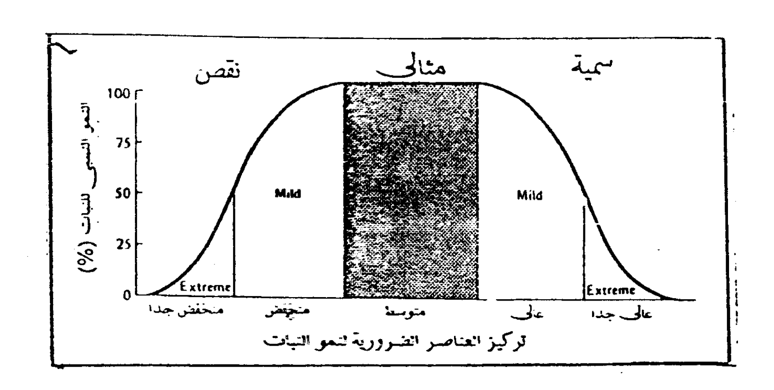
Interaction between Soil components

فى مناقشتنا لمكونات التربه الأربع (المعادن ـ المادة العضويه ـ الماء ـ الهواء) تم توضيح أثر هذه المكونات على نمو النبات ويجب القول أن مكونات التربه لا تؤثر على نمو النبات بصورة مستقله عن بعضها البعض وإنما تعمل بصورة متكامله فمثلا رطوبة التربه التى تمد النبات بالماء اللازم لنموه تتحكم فى نفس الوقت فى كمية الهواء التى تصل إلى النبات . أيضا تعمل المادة العضويه على ربط حبيبات التربه بعضها ببعض ويؤدى ذلك إلى زيادة عدد المسام الكبيره Large pores فى التربه وهذا بالتالى يؤثر على علاقات الماء والهواء فى التربه .

صلاحية العناصر الغذائيه الأساسيه Essential Element Availability

يمتص النبات العناصر الغذائيه الضروريه وكذلك الماء من المحلول الأرضى ومع ذلك فإن كمية العناصر الغذائيه فى المحلول الأرضى تعتبر غير

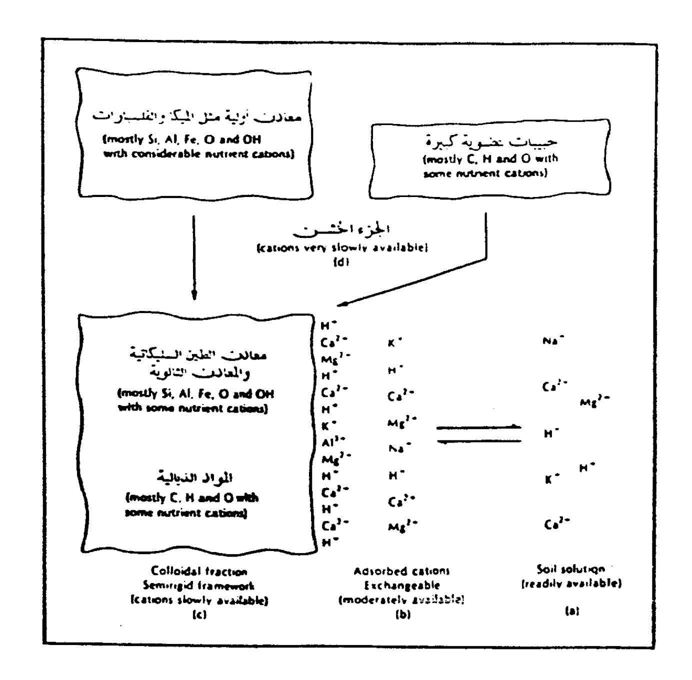
كافيه لأنتاج المحصول (شكل 1-6) وبالتالى فإن المحلول الأرضى يجب إمداده بصورة مستمره بالعناصر الغذائيه وذلك لتعويض ما يمتصه النبات ويتم هذا الإمداد عن طريق الجزء غير العضوى أو الجزء العضوى من التربه أو يتم عن طريق إضافة الأسمدة إلى التربه .



شكل (1-6) : العلاقه بين نمو النبات وتركيز العناصر الضروريه لنمو النبات فى المحلول الأرضى . يجب إضافة العناصر الغذائيه للمحلول الأرضى بكميات كافيه حتى يمكن للنبات أن ينمو نموا طبيعيا .

ولحسن الحظ فإن كميات كبيره من العناصر تكون مصاحبه للجزء الصلب من التربه فى صورتيه العضويه وغير العضويه وعن طريق العمليات الكيميائيه والبيوكميائيه فى التربه يتم امداد المحلول الأرضى بالعناصر الغذائيه لتعويض كمية العناصر الغذائيه التى أمتصت بواسطة النبات . فمثلا يحدث إنطلاق لعنصرى الكالسيوم Ca^{2+} ، البوتاسيوم K^{+} من سطوح غرويات الطين

والدبال إلى المحلول الأرضى من خلال عمليات التبادل الأيونى . كما أن كثير من أيونات العناصر الغذائيه تتحرر عند تحلل البقايا العضويه بفعل ميكروبــات التربه . وبالتالى فإن جذور النبات تستطيع أن تمتص العناصر الغذائيه اللازمه لها من المحلول الأرضى . ويتواجد الجزء الأكبر من العناصر الغذائيــه فــى التركيب البنائى لمعادن الطين الأوليه والثانويه والماده العضويه وبمرور الزمن يحدث أنطلاق وتحرر هذ العناصر وبالتالى فإن التركيب البنائى للجزء الصلب من التربه يعتبر مصدرا هاما للعناصر الغذائيه بالنسبه للنبات . ويوضح الشكل (1-7) كيفية تفاعل الجزء الصلب من التربه مع المحلول الأرضى لإمداد النبات بالعناصر الغذائيه الضروريه لنموه . أيضا يوضح الجدول رقم (1-3) محتــوى أتربه المناطق الجافه والرطبه من بعض العناصر الغذائيه الضروريــه لنمــو النبات .



شكل (1-7) : يوضح العلاقه بين مكونات التربه المختلفه ببعضها لإمداد النبات بالعناصر الغذائيه:

(i) العناصر الغذائيه فى المحلول الأرضى تعتبر الصوره الصالحه للامتصاص بواسطة النبات

(ii) الكاتيونات المدمصه والتى تتبادل مع الكاتيونات فى المحلول الأرضى وتعتبر متوسطة الصلاحيه moderately available

(iii) الكاتيونات الموجوده فى التركيب البنائى للطين والدبال وتعتبر الصوره بطيئه الصلاحيه slowly available

(iv) الكاتيونات الموجوده فى المعادن الأوليه والتى تنطلق نتيجة عمليات التجويه وتعتبر الصوره شديدة البطء فى الصلاحيه very slowly available

جدول (1-3) : كميات ست عناصر غذائيه ضروريه للنبات فى أتربه بعض المناطق الجافه والرطبه.

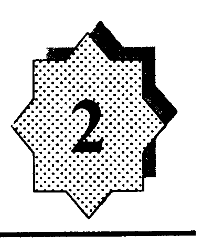
العنصر الغذائى	تربه ممثله للمناطق الجافه			تربه ممثله للمناطق الرطبه		
	فى المحلول الأرضى	متبادل	فى الجزء الصلب	فى المحلول الأرضى	متبادل	فى الجزء الصلب
	(kg / ha)	(kg / ha)	(kg / ha)	(kg / ha)	(kg / ha)	(kg / ha)
Ca	140-280	5.625	20,000	60-120	2,250	8,000
Mg	25-40	900	14,000	10-20	450	6,000
K	15-40	250	45,000	10-30	190	38,000
P	0.1-0.2	-	1,600	0.05-0.15	-	900
S	6-30	-	1,800	2-10	-	700
N	5-20	-	2,500	7-25	-	3,500



تلوث التربه : المصادر والممارسات

Soil Pollution : Sources and Practices

- تعــريـــــــف
- ملوثات التربه
  - الملوثات العضويه (أقسامها ومصادرها)
  - الملوثات غير العضويه (أقسامها ومصادرها)
- مصادر الملوثات فى مواقع التلوث



تلـــوث التربه : المصادر والممارسات
Soil Pollution : Sources and Practices

ينظر العالم بأسره بقلق وإهتمام إلى الكميات الكبيرة والمتزايدة من المـــواد السامه التى تستقبلها التربه لما لهذه المواد من خطورة على صحة الانسان فتبعا لتقرير هيئة حماية البيئه الأمريكيه (USEPA) أكـــثر مـــن مليـــون طـــن مـــن الكيماويات السامه الناتجة من المصانع سنويا تلوث التربه والماء والهواء .

ويعرف تلوث التربه بأنه :

"وجود بعض المكونات الناتجة عن النشاط الأنسانى فى التربه بتركـــيزات يمكن أن تؤدى إلى أضرار لمستخدمى هذه الأتربه أو تفـــرض قيـــود علـــى الاستخدام الحر لهذه الأتربه Finney, 1987" .

وأضرار تلوث التربه تشمل التأثير السىء على صحة الانسان والحيـــوان والنبات والإضرار بالمبانى المقامه عليها وتلوث المياه الجوفيه والمياه الحـوه . ويحدث التلوث فقط عندما يصبح تركيز الملوثات فى التربه نتيجة النشاط

الإنسانى أكبر من التركيز الطبيعى لهذه المواد فى التربه ويكون لهذا التركـــيز تأثير سىء على البيئه وعناصرها . ومن وجهة نظر صحة الإنسان والحيـــوان

والنبات فإن التربه لا تعتبر ملوثه إلا اذا وصل تركيز الملوثات بها إلى الحـــد الحرج الذى تتأثر عنده العمليات البيولوجية .

وتشخيص التلوث يحتاج إلى تقويم الملوثات عند مواقع التلوث شاملا حجـم الملوثات بالنسبة إلى حجم التربه وكذلك توزيع هـــذه الملوثـــات فـــى التربـــه والخواص الكيميائية والطبيعية لكل ملوث من الملوثات وتفاعل هذه الملوثـــات مع التربه .

وتختلف المسارات التى عن طريقها يحدث تلوث التربه ويمكـــن تقســيمها بصفة عامة إلى :

مصدر مباشر Point source

ويقصد به مصدر محدد ومعلوم يمكن قياس كمية الملوثات الصادره منـــه.

__ومثال ذلك :__ أنابيب الصرف الصناعى والصرف الصحى .

مصدر منتشر Non point (diffuse) source

وهى المصادر التى من الصعب قياس كمية الملوثات الناتجة عنها وذلـــك لإنتشارها على مساحات كبيرة وغالبا ما تكون عبارة عن عدة مصـــــادر مـــع بعضها .

__ومثال ذلك :__ التلوث الناجم من الأسمدة والمبيدات التى تحملها المياه السطحية من الأرضى الزراعية والتلوث الناتج من عوادم السيارات .

وتعتمد مصادر التلوث ومساراتها إلى حد كبير على نوع الملوث فالعناصر الصلبه قد يكون مصدرها مباشر أو غير مباشر أما تلوث الأراضى بالعنـــاصر المشعه فغالبا ما يكون تلوثا مباشرا الا فى حالات محدده مثل حادثة تشـــرنوبيل عام 1986 حيث انتقلت سحب الإشعاعات الذريه إلى مسافات كبيرة جدا .

التلوث بالمركبات العضويه ايضا يكون من مصدر مباشـــر فــى أغلــب الأحوال ومثال ذلك تلوث المياه الجوفيه فى الولايات المتحده الأمريكيه بالتراى كلورو إيثلين Trichlororthylene الذى انتشر من أماكن تخزينه إلى تحت سطح التربه .

تعتمد حركة الملوثات فـــى التربـــه إلـــى حـــد كبـــير علـــى الخـــواص البيوجيوكيميائية والفيزيائية للتربه (شكل 2-1) فالعناصر تصبح أقل حركة فـــى الأراضى التى تحتوى على كميات كبيرة من مواقع الامتصاص وكذلـــك فـــى الأتربه التى تكون خصائصها الكيميائية مثل الـــ pH تشجع على ترسيب هـــذه العناصر . فالزرنيخ والسلينيوم يكونا أكثر حركة فى الظروف القاعدية بينمـــا عناصر الرصاص والزنك والكادميوم تكون أكـــثر حركـــة تحـــت الظـــروف الحامضية . كذلك جهد الأكسدة والأختزال يؤثر بدرجة كبـــيرة علـــى حركـــة العناصر . يتوقف معدل انتقال الملوثات على خواص التربه الفيزيائية وبالتحديد التوزيع الحجمى للحبيبات والكثافة الظاهرية لأن كلا من هـــاتين الخـــاصيتين تؤثران على حركة الماء والهواء خلال التربه وذلك عن طريق التـــأثير علـــى المسامية والتوصيل الهيدروليكى للتربه .

ويمكن تقسيم ملوثات التربه إلى :

١. ملوثات عضويه Organic Contaminants

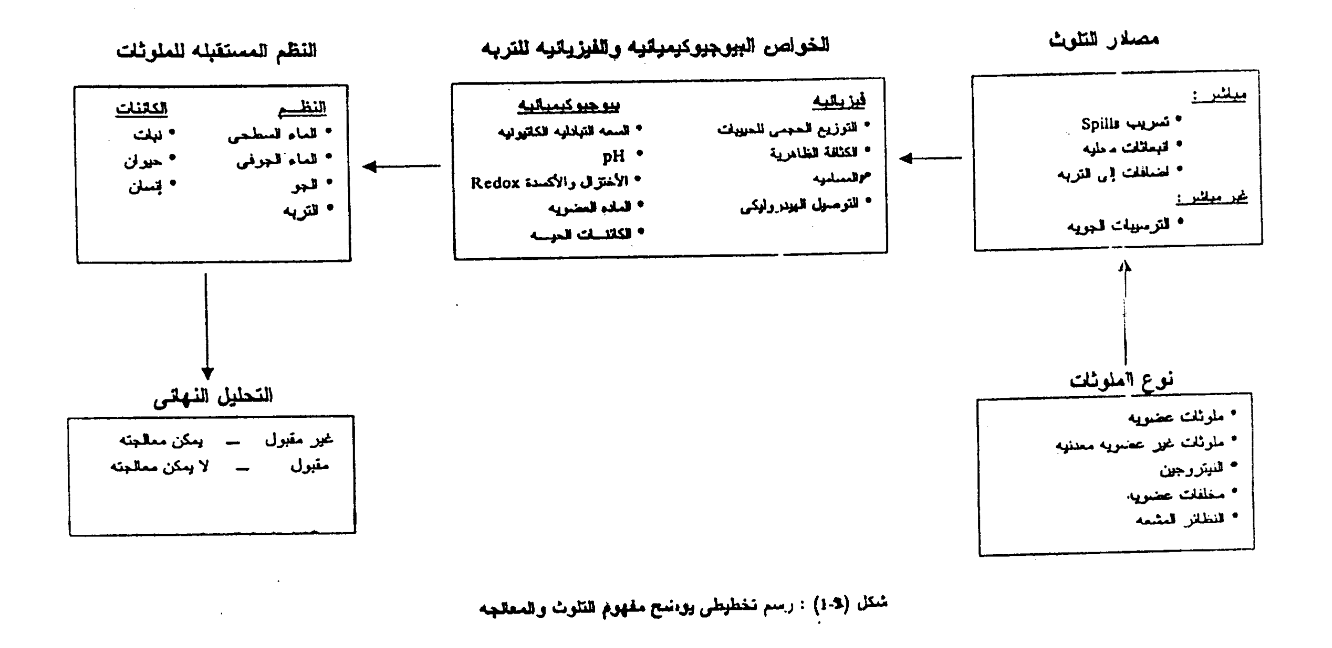
مثل المركبات الهدروكربونيه العطريه والمبيدات ومنتجات البترول .

٢. ملوثات غير عضويه Inorganic Contaminants

أ. العناصر الصغرى والسامه مثل الزرنيخ ــ الكادميوم ــ الزئبق وغيرها

ب. النيتروجين

ج. النظائر المشعه



شكل (1-3) : رسم تخطيطى يوضح مفهوم التلوث والمعالجه

الملوثات العضويه فى التربه

يوجد مئات الأنواع المختلفة من المركبات العضويه التى تلوث التربه بعض منها يتواجد طبيعيا والبعض الآخر من صنع الانسان . وهذه المركبات بغض النظر عن مصدرها قد تكون سامه للنبات والحيوان عند تواجدها بتركيزات عالية فى التربه . وأغلب المركبات العضويه تتحلل بمرور الزمن منتجة عدد أكبرَ من المركبات بعضها قد يكون أقل فى الكميه ولكنه أكثر سميه من المركب الأصلى . ومثال ذلك trichloroethylene (TCE) الذى يتحلل إلى كلوريد الفينيل vinyl chloride الذى بدوره يتحلل إلى CO_2 تحت الظروف الهوائيه أو إلى ميثان تحت الظروف المختزله . وسمية كلوريد الفينيل أكثر مائه ضعف من سميه (TCE) فى حين أن CO_2 أقل سميه من TCE أى أن تركيب المركبات العضويه وسميتها فى النظام يتغير مع الزمن وهذا التغير الديناميكى يجعل تقييم تأثير الملوثات العضويه فى التربه على صحة الانسان أكثر تعقيدا .

ويمكن تقسيم الملوثات العضويه تبعا للتركيب الكيميائى لها أو استخداماتها إلى :

1. Polycylic Aromatic Hydrocarbons (PAH).
2. Nitroaromatics.
3. Phenoles and anilines.
4. Halogenated aromatics.
5. Halogenated aliphatic.
6. المبيدات
7. منتجات بتروليه

جدول (3-1) : تركيب ومصادر الملوثات العضويه

القسم	التركيب	مثال	المصادر
١. الهيدروكربونات العطريه الحلقيه Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)	(Naphthalene) (Phenanthrene)	• Naphthalene • Phenanthrene	• احتراق الفحم والبترول والخشب • الأسفلت • انبعاثات عوادم السيارات ــ الشحوم • قطران الفحم Coal tar
٢. النيترو العطريه Nitroaromatic	CH_3, NO_2, NO_2, NO_2 (TNT)	• 2,4,6 Trinitro toleune (TNT) • Trifluralin,benefin,ethalfluralin, methyl parathion • Pyroxylin	• القنابل • مبيد حشرى • مبيد بكتيرى
٣. فينولات وأنيلينات Phenoles, anilines	(Phenol) OH, Cl, Cl, Cl, Cl, Cl (Pentachlorophenol)	• Pentachlorophenol (PCP) • Phenylamide مبيدات حشائش: Phenylcarbamates and phenylureas	• مواد حافظة للأخشاب • مبيد بكتيرى • مبيدات حشائش • مياه صرف مصانع مواد صباغه

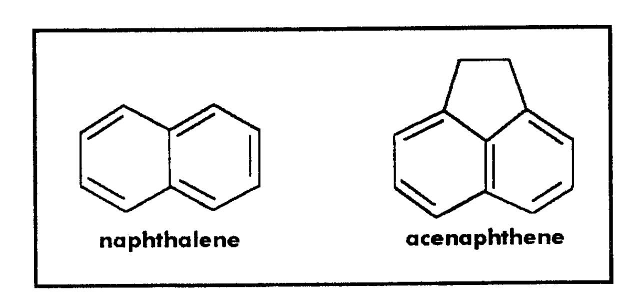
المجموعة	المركبات	أمثلة	المصادر
٤. الهالوجينات العطريه Halogenated aromatic	(DDT)	• Methychloride,chloroform bromomethane,formaldhyde, carbon tetrachloride . • مبيدات مكلورة مثل : aldrin, dieldrin, endrin, endosulfan • Dioxins DDT (DDD, DDE)	• مبيدات حشائش • حرق المخلفات الطبيه والمخلفات الصلبه و المخلفات الخطره • احتراق البترول والفحم والإطارات • مناجم الرصاص
٥. الهالوجينات الأليفاتيه Halogenated aliphatic	• كلوريد الميثل – كلوروفوروم • برومولميثان، فورمالدهيد ورابع كلوريد الكربون Trichloroethylene (TCE) Tetrachloroethylene (PCE) 1.1dichloroethylene vinylchloride	(Tetrachlorethylene, PCE)	• أماكن التنظيف الجاف • صناعة البلاستيك
٦. المبيدات Pesticides	ذات تركيبات عديدة مختلفة تم مناقشتها في الأقسام السابقة مثل الفينولات والهالوجينات العطريه ومركبات النيترو العطريه .	• Alachlor,aldicarb,atrazine,carbofurn diquat,diuron,endrin,malathion paraquat,picloram (Methoxychlor)	• الزراعة • صناعة الأسمدة
٧. منتجات البترول Petroleum	مخلوط من الهيدروكربونات العطريه وتحتوى على Parafinic, Cycloparafinic نسب قليلة من النيتروجين والكبريت	• البترول الخام • تكرير البترول	• صناعة تكرير البترول • السيارات ووسائل النقل • وسائل نقل البترول مثل الأنابيب وغيرها • الصناعة

وهذا التقسيم (جدول رقم 2-1) يعتمد على التركيب الكيميـــائى للمركبـــات بالنسبة لستة أقسام أما بالنسبة للمبيدات فقد تم إدراجها فى هذا التقسيم بناءا على استخدامها حيث أن المبيدات تشتمل على أكثر من قسم من الأقســـام الســـابقة ولكنها تستخدم على نطاق واسع فى الأراضى وانتقلت بالفعل من التربه إلـــى الماء الجوفى فى مناطق كثيرة من العالم .

1 .الهيدروكربونات العطريه الحلقيه

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)

الهيدروكربونات العطريه الحلقيـه Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) هى الهيدروكربونات التى تحتوى على أثنين أو أكثر حلقـــة عطريـــه ومثال ذلك النفثالين acenaphthene, naphthalene (شكل 2-2) الـــذى يحتـــوى على حلقتين عطريتين بالإضافه إلى حلقه مشبعه .



شكل (2-2) : نافثالين وهو أبسط مركب فى المركبات الهيدروكربونيه العطريه الحلقيه .

والمركبات الهيدروكربونيه العطريه الحلقيه قد يصل عدد الحلقات فيها إلـى ستة حلقات عطريه (أشكال 2-6 , 2-3) .

anthracene
phenanthrene
acenaphthylene
fluorene

شكل (2-3) : بعض الهيدروكربونات العطريه المحتويه على ثلاث حلقات .

chrysene
pyrene
ben[a]anthracene
fluoranthene

شكل (2-4) : بعض الهيدروكربونات العطريه المحتويه على أربع حلقات عطريه .

dibenz[a,h] anthracene

Benz[a] pyrene

benz[b] fluoranthene

benz[k] fluoranthene

شكل (2-5) : بعض الهيدروكربونات العطريه المحتويه على خمس حلقات عطريه .

Indeno[1,2,3-cd]pyrene

benz[g,h,i]perylene

شكل (2-6) : بعض الهيدروكربونات العطريه المحتويه على ستة حلقات عطريه .

وتوضح الأشكال السابقة الجزيئات غير المشبعه علما بأن المركبات التـــي تحتوى على حلقات مشبعه اضافيه تكون أكثر تركيزا فى المركبات البتروليـــه من المركبات غير المشبعه .

تتواجد الهيدروكربونات العطريه الحلقيه طبيعيا فى البيئه وتنتج ايضا خلال احتراق المواد العضويه مثل الفحم والخشب(جدول 2-1) كما أن هذه المركبـــات تعتبر أحد مكونات المنتجات البتروليه مثل الأسفلت والشحم والوقود ولقـد أدى النشاط الانسانى الناجم من احتراق الوقود مثل الفحم وإنتاج الاسفلت إلى زيـادة تركيز هذه المركبات فى التربه لأن هذه المركبات المنطلقه إلى الجو تعود ثانيا إلى التربه مع الأمطار أو بدونها. ولقد أوضحت نتائج الأبحاث أن تركيز هــذه المركبات فى التربه زاد أربعة أضعاف فى خلال مائه سنة وقد تم رصد هــذه المركبات فى الجزر ووجد أن أعلى تركيز لها يوجد فى قشرة الثمره .

قام La Goy and Quirk (1994) بتقدير الهيدروكربونات العطريه الحلقيه فى التربه فى أماكن مختلفة ووجد أنها تـتراوح بيـن $0.01\text{-}1.30\ mg\ kg^{-1}$ فــي أراضى الغابات وبين $0.06 - 5.8\ mg\ kg^{-1}$ فى الأراضى الزراعية وبيـــــن $1 - 100\ mg\ kg^{-1}$ فى المدن وزاد تركيزها عـن $100\ mg\ kg^{-1}$ فــي المنـــاطق الصناعية كما وجد أن غبار الطرق يحتوى على تركيزات عاليـــة مـن PAH تتراوح بيـــــن $8 - 336\ mg\ kg^{-1}$ وبتقدير (PAH) فى الغبار داخل المنـــازل وجد أنه يحتوى على تركيزات تتراوح بين $18 - 580\ mg\ kg^{-1}$ وهذا يعنـــي أن التركيزات العالية فى غبار المنازل ناتجة أساسا من غبار الطرق .

كانت المصادر الثابتة مثل أماكن احتراق الوقود (الفحم) تمثل حوالى 80 % من مصادر التلوث بالـ PAH قبل عام 1980 ولكن حديثا ثبت أن الإنبعاثـــات من عوادم السيارات وزيت السيارات يمثلان المصدران الرئيسيان لتلوث التربه بالهيدروكربونات العطريه الحلقيه في المدن .

2. مركبات النيترو العطريه Nitro aromatics :

تستخدم مركبات النيترو العطريه فى صناعات الكيماويات وتكرير البترول ومواد الصباغه كما تستخدم كمبيدات حشريه وبكتيريه وكمتفجرات . تعتبر مركبات TNT, ammonium picrate and tetryl من المتفجرات شائعة الانتشار (شكل 2-7) .

TNT
TETRYL
AMMONIUM PICRATE

شكل (2-7) : التركيب الكيميائى للمتفجرات النيترو عطريه

ومركب TNT يعتبر سام للفطريات والخمائر والبكتريا الموجبة لجرام اذا تواجد بتركيز >50 mg kg^{-1} ومن المعروف أن نواتج تكسر TNT تبقى فى التربه عشرات السنين. لتحللها البطىء جدا .

مركبات النيترو العطريه المستخدمة كمبيدات حشائش تشمل Trifluralin, benfin, ethalfluralin, Isopropalin وهذه المبيدات تستخدم مع العديد من المحاصيل ولقد وجد أن التركيز المتبقى للـ Trifluralin في التربه يتراوح من 10 – 30 mg kg^{-1} (West et al. 1988). وحاليا يستخدم مبيد الحشائش methyl parathion بدلا من parathion شديد السمية والواقع أن ناتج التحلل

المـــائى للــــ methyl parathion هــو المركــب الســـــام paranitrophenal (Megharaj et al. 1994).

كثير من الأماكن المقام عليها منشأت عسكرية تكون ملوثه بمركبات النيترو الناتجة من تصنيع وتوزيع واختبار الذخيره فلقد أدى التخلص من مياه صــرف مصانع الذخيره فى لويزيانا إلى تلوث الأراضى المحيطة بها . كما أن تركــيز pyroxylin فــى الأتربــه المحيطـــة بمصــــانع الذخــــــيره فــــى Baraboo ويسكونسن USA وصل إلى 18, 800 mg kg^{-1} وقد أوضح تحليل التربـــه فـــى خمس ولايات تقع فيها مصانع الذخيره أن تركيز هذه المركبات فـــى التربـــه يتراوح بين 1 – 15,000 mg kg^{-1} .

3. الفينولات و الأنيلينات

الفينولات والأنيلينات هى عباره عن مواد سامه توجد فى المياه المتخلفـــه عن صناعة مواد الصباغه فتركيز الفينولات فى مياه صرف صناعـــة مـــواد الصباغه يصل إلى 761 mg L^{-1} وهذه المياه يتم التخلص منـــها بإلقائـــها فـــى الأراضى . كما أن الأنيلين ومشتقاته فى التربه ينتج من التحولات البيولوجيـــه للعديد من مبيدات الحشائش شامله phenylureas, phenylcarbamates . ويمكـن لمتبقيات هذه المركبات أن ترتبط بالدبال فى التربه مما يـــؤدى إلـــى خفــض امتصاصها بواسطة النبات .

ينتج مركب pentachlorophenol (PCP) اساسا من استخدامه كمادة حافظــة للأخشاب ولكنه يستخدم ايضا كمبيد ولقد وجد PCP بتركيزات تصل إلى أجزاء فى المليون فى بول الأشخاص الذين تعرضوا لهذه المركبات . أما تركيز PCP فى التربه فيصل إلى 33.3 mg kg^{-1} أما فى الماء فوجد أنه < 0.01 mg kg^{-1} . وتوجد أبحاث أوضحـــت أن تركـــيز هـــذا المركـــب فـــى أتربـــه واشـــنطن يتراوح بين 500 – 6000 mg kg^{-1} (Fort et al., 1995) .

4. مركبات الهالوجينات العطريه Halogenated Aromatics

يوجد أهتمام كبير بالمركبات الهالوجينيه العطريه وذلك لسعة انتشارها فـــى البيئه ولما تملكه من خصائص التجمع الحيوى bioaccumulation .

ويوضح الشكل (2–8) التركيب الكيميائى لبعض المركبـــات الهالوجينيـــه العطريه المصنعه مثل Pronoamide, 3, 5 – dichloroaniln DDT وغيرها كمـا تتواجد ايضا المركبات الهالوجينيه العطريه طبيعيا فى البيئه ومصادرها النبات والأحياء الدقيقه ، الأحياء البحريه ويوضح شكل(2-9) التركيب الكيميائى لبعض المركبات الهالوجينيه العطريه المنتجة طبيعيـــا مثـــل 2, 4– dichlorophenal chlorotytosine,3,4–dichlorobenzoate 3-bromo-5- وغيرها

شكل (2-8) : التركيب الكيميائى لبعض المركبات الهالوجينيه العطريه المصنعه .

neopyrrolomycin
3-bromo-5-chlorotyrosine
2,4,2',4'-tetrabromo-3-chloro-6-hydroxy-diphenylether
2,4-dichlorophenol
1,2,3,4-tetrachloro-benzene
methyl-4-chlorophenyl-ketone
3,4-dichloro-benzoate
2,3,7,8 - tetrachlorodibenzo-p- dioxin
2,3,7,8 - tetrachlorodibenzofuran

شكل (9-2) : التركيب الجزيئي لبعض المركبات الهالوجينيه العطريه الطبيعيه .

تعتبر صناعة المبيدات والنتروكيماويات المصدر الأساسي للمركبات الهالوجينيه العطريه في التربه (Swoboda-colberg, 1995) حيث تستعمل كثير من المركبات العطريه كمبيد للحشائش وكمواد معالجه للأخشاب وهذه المواد تختلف من مركبات عطريه بسيطة مثل كلوروبنزين وكلورو فينول ومشتقاتهما مثل Chlorophenoxyacetate, إلى Chlorobiphenyls, DDT والمبيدات الحشريه النيتروجينيه مثل Linuron, pronamide .

كما أن عمليات احتراق الوقود تؤدى إلى إنطلاق بعض المركبات الهالوجينيه العطريه حيث من الثابت الآن أن أى عملية احتراق شاملة احتراق الغابات ينتج عنها polychlorinated dipenzo p dioxins (PCDD), dibenzofurans (PCDF) .

علما بأن كلا من (PCDD), (PCDF) يمكن أن يتكونـا طبيعيـا بواسطة الكائنات الحية الدقيقة فى التربه من الكلوروفينيل الموجود طبيعيا إلا أن تركيز هذه المواد فى التربه أعلى بكثير من التركيزات الطبيعية المعروفه .

وغالبا ما يطلق على كلا من (PCDF) , (PCDD) إسم dioxin ويعتبر حرق المخلفات الصحيه ومخلفات المدن والغلايات فى مصانع الأسمنت هم الثلاثـة مصادر الهامه للديوكسين ويلى ذلك حرق الأخشاب وتعدين النحاس واحـتراق الغابات . كما يعتبر كل من احتراق البـترول والفحـم والإطـارات وحـرق المخلفات وتعدين الرصاص ايضا من مصادر الديوكسين فى البيئه .

وتعتبر حادثة التلوث في الولايـات المتحـده الأمريكيـه بمـادة (2,3,7,8 tetra chlorodibenzo dioxin) (2,3,7,8, TCDD) الذى يعتبر من أكثر الأنواع سميه مثال للتلوث بالهالوجينات المكلوره وقد حدث ذلك نتيجة استخدام خليط من المخلفات الكيميائيه والبترول لرش الطرق وأماكن الخيول وأمـاكن انتظار السيارات ولقد وجد أن تركيز 2,3,7,8, TCDD فى التربه يتراوح بيـن $<100->1000$ mg kg^{-1} .

وقد أوضح Jones 1991 أن الترسيب الجوى يعتبر من أهم مصادر تلـوث التربه بالمركبات المكلـوره و Polychlorinated biphenyls (PCBs) . ولقـد أوضحت تحليلات التربه فى انجلترا إلى ارتفاع مسـتوى PCBs فـى التربـه ارتفاعا كبيرا فى خلال ثلاثون عاما حيث ارتفع من 140 إلى 560 mg kg^{-1} .

وقد أدى كلا من جريان الماء السطحى والقاء مياه الصرف الصحـى فـى البحار إلى تلوث الترسيبات البحريه بالمبيدات العضويه المكلوره . فلقد وجد أن تركيز DDT الكلى فى خليج كاسكو Casco Bay (ME) يتـراوح بيـن

أما فى غرب الهند فوجد أن التركيز يتراوح بين 0.25 21 ug kg^{-1} 30 – 40 ug kg^{-1} فى المناطق الملوثه بينما كان التركيز يتراوح من 0.5 – 3 ug kg-1 فى المناطق غير الملوثه.

5 . المركبات الأليفاتيه الهالوجينيه

تستخدم المركبات الاليفاتيه الهالوجينيه كمذيبات ومزيلات للشحوم وايروسولات ووسيط فى صناعة الكيماويات والبلاستيك ومبيدات . نتيجة استخدام طرق تخزين غير سليمة وطرق غير ملائمه للتخلص من هذه المركبات تلوثت التربه والماء الجوفى بهذه المركبات ويعتبر مركب TCE اكثر الملوثات انتشارا فى مواقع القاء المخلفات . ولقد تم التعرف على حوالى 15 مركب فى الأراضى المقام عليها محطات الطاقه وتعتبر مركبات Trichloroethane (TCE) ، bichloroethane ، رابع كلوريد الكربون أكثرهم انتشارا .

والمركبات الأليفاتيه الهالوجينيه يتم انتاجها صناعيا بكميات كبيرة فانتاج الولايات المتحده وحدها من dichloroethane يبلغ حوالى 7 مليون طن عام 1992 . وتعتبر المركبات الهيدروكربونيه الأليفاتيه الهالوجينيه سامه ومسببه للسرطان كما أن chlorofluorocarbons (CFC) يعتبر من المواد التى تشارك فى تدمير طبقة الأوزون فى طبقات الجو العليا . ويتراوح تركيز TCE فى التربه فى المواقع غير الملوثه والملوثه بين 0.2 – 26.9 mg kg^{-1} (Hewitt et al., 1992).

6 .المبيدات الكيميائيه Chemical Pesticides

يستخدم العديد من مبيدات الآفات فى إنتاج المحاصيل وذلك بغرض مكافحة

الآفات التى تصيب هذه المحاصيل . وتقسم المبيدات حسب نوع الآفه إلـى (١) مبيدات حشريه (٢) مبيدات فطريه (٣) مبيدات حشائش (٤) مبيدات نيماتوديـة (٥) مبيدات قوارض ، وتستخدم الثلاثة أنواع الأولى بكميات كبيرة فى الزراعة ويؤدى ذلك إلى تلوث التربه ولقد قدر استخدام الولايات المتحده بحوالى نصف مليون كجم مبيدات (6 بليون دولار) فى عام 1990 . ومعظم المبيـــدات هـــى عبارة عن مركبات عطريه والتركيب الكيميائى لبعـــض المبيـــدات الحشـــرية ومبيدات الحشائش شـــائعة الإســـتخدام موضحـــا بالشـــكل (2-10) ويلاحـــظ الأختلافات الكبيرة فى التركيب الكيميائى بين أنواع المبيدات .

$O-C(=O)-NH-CH_3$ (كاربريل)

$CH_3CH_2O-P(=S)(OCH_2CH_3)-O-C_6H_4-NO_2$ (بارثيون)

$Cl-C_6H_3(Cl)-OCH_2COOH$ (2.4-D)

$Cl-C_3N_3(NH-CH(CH_3))(NH-C_2H_5)$ (أترازين)

شكل (2-10) : يوضح التركيب الكيميائى لبعض أنواع المبيدات شائعة الإستخدام فى إنتاج المحاصيل .

والنظر إلى المبيدات على أنها ملوثات يتوقف على درجة تحللها وســـميتها للحيوان والانسان . فالمبيدات التى تتواجد فى التربه لفترة زمنية طويلة بدون

أن تتحلل إلى مواد غير سامة للأنسان والحيوان يمكن أن تتجمع بتركيزات عالية فى السلسلة الغذائية Food chain عن طريق الامتصاص بواسطة النبات وتؤثر بدرجة كبيرة على صحة الانسان .

وتختلف المبيدات فيما بينها من حيث فترة البقاء فى التربه فبعض المبيدات الحشريه الفوسفاتيه قد تبقى فى التربه عدة أيام والبعض الأخر قد تطول فترة بقاؤه إلى شهور مثل مبيد الحشائش atrazin حيث بلغ تركيزه فى التربه بعد 174 يوم 80 ug kg^{-1} فى حين أن metachlor وصل تركيزه إلى 30 ug kg^{-1} وفى الأراضى المنزرعه ذره وتمت معاملتها بالأترازين Metolachlor (1987, 1988) , Cyanazine (87, 88), atrazine(1985 – 1987) وبتحليل هذه الأراضى بعد 4 سنوات من آخر معامله وجد أن التركيز المتبقى لمبيد metolachlor 103 ug kg^{-1} وذلك بالمقارنه بتركيز 15.65 ug kg^{-1} للأترازين و 9.61 ug kg^{-1} للسيانازين Cyanazine ويتضح من ذلك طول فترة بقاء المبيدات متوسطة الذوبان . والواقع أن المبيدات التى تتحلل بسهولة إلى مكونات غير سامه للإنسان ولا تطول فترة بقاؤها فى التربه لا تمثل خطرا حقيقيا على البيئه وانما الخطر الحقيقى يكمن فى تلك المبيدات التى تقاوم التحلل وتطول فترة بقاؤها فى التربه.

7. نواتج البترول Petroleum Products

الاستخدامات العديدة لنواتج البترول فى الصناعة والتجارة أدت إلى انطلاق هذه النواتج إلى التربه . وأى موقع يحدث فيه تعامل مع المنتجات البتروليه سواء انتاج أو نقل أو تخزين لابد أن يؤدى إلى تلوث التربه وعلى سبيل المثال وجود الهيدروكربونات الناتجه من زيت السيارات فى تراب الطرق والأرصفة والنباتات الناميه فى الطرق وفى الترسيبات الجويه بمناطق صناعة المنتجات

البتروليه . ولقد وصل تركيز الهيدروكربونات فى الترسيبات الجويه حوالـــى $125000\ mg\ kg^{-1}$ يلى ذلك تركيز الهيدروكربونات فى غبـــار الشـــوارع فـــى الأمـــاكن الصناعيـــة والتـــى وصـــل إلـــى $3490\ mg\ kg^{-1}$. أمـــا تركـــيز الهيدروكربونات فى الأراضى الملاصقه للطرق السريعة وصل إلـــى $265\ mg\ kg^{-1}$. أما الأراضى الملاصقه للمناطق الصناعية كان تركيز الـــهيدروكربونات $856\ mg\ kg^{-1}$ اما التركيز فى النباتات فيتراوح من $40 - 290\ mg\ kg^{-1}$.

الملوثات غير العضويه فى التربه

تتلوث التربه بالعديد من المركبات الكيميائيه غير العضويه وعند دخول هذه المركبات إلى التربه تصبح جزء منها وبالتالى تؤثر على جميع صور الحيـــاه . وهذه المركبات غير العضويه تكون سامه للإنسان والحيوان عند تولجدها فـــى التربه بتركيزات عالية وتختلف سميه هذه المركبات تبعا لنوع العنصر الموجود بها .

والملوثات غير العضويه التى سيتم مناقشتها فى هذا الفصل تشمل :

أ. العناصر الصغرى والسامه

ب. النيتروجين

ج. النظائر المشعه .

أ. العناصر الصغرى والسامه

ومصادر العناصر الصغرى والسامه فى التربه تنقسم إلى :

١. مصادر طبيعية

التربه هى خليط مختلف التركيب من معادن نتجت من عمليـــات التجويـــه الفيزيائيه والكيميائيه والحيويه لصخور القشره الأرضية المكونه لمادة الأصـــل

parent material . وتمثل عناصر Ti, Mg, K, Na, Cu, Fe, Al, Si, O والفوسفور أكثر من 99% من المحتوى الكلى للعناصر فى القشرة الأرضية . اما بقية عناصر الجدول الدورى والتى يطلق عليها العناصر الصغرى فتوجد فى القشرة الأرضية ولكن بتركيزات منخفضة لا تتعدى (0.1%) 1000 mg/kg والحقيقة أن متوسط تركيز هذه العناصر فى القشرة الأرضية يبلغ 100 mg/kg.

تعتبر الصخور هى الوحدات الأساسية فى بناء هيكل التربه وتقسم صخور القشرة الأرضية تبعا لأصل تكوينها إلى صخور ناريه وصخور رسوبيه وصخور متحوله . وتتواجد العناصر الصغرى فى الصخور الناريه بتركيزات منخفضة فى المعادن الأوليه التى تكونت من مصهور المعادن ويوضح الجدول (2-2) العناصر الصغرى التى توجد فى المعادن الأوليه بتركيزات منخفضة .

والصخور الرسوبيه تمثل حوالى 75% من الصخور الموجودة على سطح القشرة الأرضية ولذلك فهى تعتبر أهم من الصخور الناريه فى تكوين التربه . وتحتوى الصخور الرسوبيه على المعادن الثانويه مثل معادن الطين والترسيبات الكيميائيه مثل كربونات الكالسيوم ويتوقف تركيز العناصر الصغرى فى الصخور الرسوبيه على التركيب المعدنى لها والخصائص الادمصاصيه للمواد الرسوبيه . وبوجه عام فإن الطين والطفل shale يحتويان على تركيزات عاليه نسبيا من العناصر الصغرى نظرا لمقدرتها على ادمصاص هذه العناصر فالطفله السوداء (bituminous) تحتوى على تركيزات عالية من العناصر الصغرى مثل الفضة والزرنيخ والكادميوم والنحاس والموليبدنوم والرصاص والزنك . ويوضح الجدول رقم (2-3) تركيز العناصر الصغرى فى القشرة الأرضية وبعض أنواع الصخور الممثله للصخور الناريه والرسوبيه .

وتتكون التربه نتيجة عمليات التجويه على مادة الأصل (صخور ناريه أو

رسوبيه) حيث يحدث تحوير للمعادن الأساسية وتتغير إلى معادن طين سليكاتيه مختلفة وهذه المعادن المتكونه قد تتجمع فى مكانها أو تتحرك إلى أسفل وتتجمع

فى مناطق أخرى من التربه ونتيجة لحركة هذه المواد من منطقة إلى أخـــرى يحدث تكوين لآفاق التربه وتتميز الآفاق السطحية بانتقال بعض المـــواد منـــها ولذلك يطلق عليها آفاق السلب بينما تتميز الآفاق تحت السطحية بتجمع بعـــض مكونات التربه فيها ولذلك تسمى أفق الإضافه والنتيجة النهائية هى تكون آفـــاق التربه التى تختلف اختلافا واضحا من مادة الأصل .

وفى قطاع التربه Soil profile تتواجد عناصر Sb, Pb, Hg, Cu, Cd, As, Zn, Ag بتركيزات عالية فى الآفاق السطحية نتيجـــة لتحلـــل بقايـــا النباتـــات والترسيبات الجويه وادمصاص هذه العناصر بواسطة مادة التربه العضويـــه . أما العناصر التى وجدت بتركيزات عالية فى الأفاق تحت السطحية فتشمل Al, Fe, Ga, Mg, Ni, Sc, Ti وذلك لإرتباط هـــذه العنـــاصر بـــالطين والأكاســـيد المتأدرته التى تنتقل إلى أسفل .

مما سبق نجد أن العناصر الصغرى تتواجد طبيعيا فى التربه لأنها جزء من مكونات التربه .

جدول (2-2) : العناصر الصغرى الموجوده فى المعادن الأوليه

المعـــدن	العناصر الصغرى	المقارنه للتجويه
أوليفين	Ni, Co, Mn, Li, Zn, Cu, Mo	سهل التجويه
هورنبليد	Ni, Co, Mn, Sc, Li, V, Zn, Cu, Ga	↓
أوجيت	Ni, Co, Mn, Sc, Li, V, Zn, Pb, Cu, Ga	
ببوتيت	Rb, Ba, Ni, Co, Sc, Li, Mn, V, Zn, Cu, Ga	
اباتيت	Pb, Sr	
أنورثيت	Sr, Cu, Ga, Mn	
أنديسين	Sr, Cu, Ga, Mn	
أوليحيوكلاز	Cu, Ga	
البيت	Cu, Ga	
جرانيت	Mn, Cr, Ga	متوسط المقاومه
أورتوكلاز	Rb, Ba, Sr, Cu, Ga	↓
مسكوفيت	F, Rb, Ba, Sr, Cu, Ga	
بيتانيت	V, Sn	
ايلمينيت	Co, Ni, Cr, V	
ماجنيتيت	Zn, Co, Ni, Cr, V	
تورمالين	Li, F, Ga	
زركون	Hf, U	
كوارتز	–	شديد المقاومه

Mitchell, R. L. (1964). Chemistry of the soil. F. E. Bear(ed) New York.

جدول (3-2) : تركيز العناصر الصغرى فى القشرة الأرضية وبعض الصخور المكونه لها (mg/kg) .

العنصر	القشرة الأرضية	الصخور الناريه		الصخور الرسوبيه		
		قاعدية	جرانيت	حجر جيرى	حجر رملى	طفل
Ag	0.07	0.1	0.04	0.12	0.25	0.07
As	1.5	1.5	1.5	1	1	13(1-900)
Au	0.004	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002
Cd	0.1	0.13	0.09	0.03	0.05	0.22
Co	20	35	1	0.1	0.3	19
Cr	100	200	4	11	35	90
Cu	50	90	13	5.5	30	39
Hg	0.05	0.01	0.08	0.16	0.29	0.18
Mn	950	1500	400	620	460	850
Mo	1.5	1	2	0.16	0.2	2.6
Ni	80	150	0.5	7	9	68
Pb	14	3	24	5.7	10	23
Sb	0.2	0.2	0.2	0.3	0.005	1.5
Se	0.05	0.05	0.05	0.03	0.01	0.5
Sn	2.2	1.5	3.5	0.5	0.5	6
Ti	0.6	0.08	1.1	0.14	0.36	1.2
U	2.4	0.43	4.4	2.2	0.45	3.7
V	160	250	72	45	20	130
Zn	75	100	52	20	30	120

Alloway B.J. 1995. Heavy metals in soils. Blackie academic & Professional New York. London.

٢. مصادر ناتجة عن النشاط الإنسانى (Anthropogenic Sources)

على الرغم من وجود العناصر الصغرى والسامه فى الصخور الأصليه التى تكونت منها التربه فإن المصادر الرئيسية لهذه الملوثات فى التربه يكون عن طريق النشاط الإنسانى وتشمل :

أ . استخراج المعادن من المناجم .
ب. المواد والكيماويات المستخدمه فى الزراعة .
ت . الحمأة (مخلفات الصرف الصحى والصناعى)
ث . احتراق الوقود الحفرى (فحم ـ بترول) Fossil fuel
ج . الصناعات التعدينيه (التصنيع ـ الاستخدام ـ المخلفات)
ح . الصناعات الإلكترونيه .
خ . التخلص من المخلفات Waste disposal
د . الحروب والتدريبات العسكريه

أ . استخراج المعادن من المناجم

يتم الحصول على المعادن المستخدمة فى الصناعة من المناجم الموجوده فى القشرة الأرضية وهذه المناجم تحتوى على صخور توجد بها المعادن metal بتركيزات عالية تسمح باستخلاص هذه المعادن إقتصاديا . وتبعا لإزدياد الحاجة إلى العناصر المعدنية لاستخدامها فى الصناعة ونتيجة لتطور تكنولوجيا استخلاص المعادن من الصخر الخام فأن الصخور التى تحتوى على تركيزات منخفضة من المعادن يتم استخدامها الآن ونتيجة لذلك فإن كميات الصخور المستخدمة لاستخلاص المعادن بها زادت بدرجة كبيرة . وأدى ذلك إلى زيادة المخلفات الناتجة من هذا النشاط وخاصة الحبيبات المتبقية من المعدن المتخلفة من عملية الاستخلاص tailings . ويمكن لهذه الحبيبات المعدنية المتبقيه أن

نتقل من مكانها بواسطة الرياح والماء إلى الأراضى المجاوره وتصبح مصدرا للتلوث بهذه العناصر فى الأراضى المحيطة بالمناجم وعند وصول بقايا الصخور والحبيبات المعدنيه إلى التربه تتعرض لعوامل التجويه الكيميائيه وتتحول إلى أيونات وتنتشر خلال قطاع التربه وتصبح أكثر صلاحية للأمتصاص بواسطة النبات ويوضح الجدول (2-4) بعض المعادن الخام ore minerals ومحتوياتها من العناصر الصغرى والسامه .

جدول (2-4) : محتوى بعض المعادن الخام من العناصر الثقيلة والسامه

العنصر		المعدن الخام	العناصر الثقيلة الموجودة
الفضه	Ag	Ag_2S , PbS	Cu, Sb, Zn, Pb, Se
الزرنيخ	As	Fe As S , As S	Ag, Hg, Bi, Mo, Sn
باريوم	Ba	Ba SO_4	Pb, Zn
كادميوم	Cd	Zn S	Zn, Pb, Cu
كروم	Cr	Fe Cr_2 O_4	Ni, Co
نحاس	Cu	Cu Fe S_2 , Cu_2 S , Cu_3 As S_4	Zn, Cd, Pb, As, Ni, Mo
نيكل	Ni	$(Ni, Fe)_9$ S_8 , Ni As	Co, Cr, As, Se
رصاص	Pb	Pb S	Ag, Zn, Cu, Cd, Se
زنك	Zn	Zn S	Cd, Cu, Pb, As, Se

Rose, A. W., H. E. Hawkes and J.S. Webb. 1979. Geochemistry in mineral exploration, 2nd edn. Academic Press, London

ويوضح الجدول السابق أن معظم المعادن الخام تحتوى على كثير من العناصر الأخرى السامه وبذلك فإن الأراضى المحيطة بالمناجم سوف تتلوث بهذه العناصر بالإضافة إلى العناصر الأساسية فى المعادن الخام . فمثلا منلجم الرصاص والزنك تنبعث منها عنصر الكادميوم إلى الأراضى المحيطة وذلك راجع إلى احتواء معادن الرصاص والزنك الخام على عنصر الكادميوم ولقد قدرت الأنبعاثات الجويه لعنصر الكادميوم من المناجم بحوالى 1630 t/yr . كما

أن مناجم النحاس تعتبر مصدرا هاما لتلوث التربه بعنصر الزرنيخ .

ب. المواد والكيماويات المستخدمة فى الزراعة Agrochemicals

تعتبر الممارسات الزراعية من أهم مصادر non-point source تلوث التربه بالعناصر السامه والتى تؤدى إلى زيادة تركيز هذه العناصر فيها خاصة فـــى الأراضى التى تستخدم فى الزراعة المكثفة .

والمصادر الرئيسية الناتجة من الممارسات الزراعية تشمل :

- الشوائب الموجوده فى الأسمدة : Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn
- مياه الصرف الصحى : Cd, Ni, Cu, Pb, Zn
- أسمدة طبيعية ناتجة من مخلفات الخنازير والدواجن : Cu, As, Zn
- المبيدات : Cu, As, Hg, Pb, Mn, Cu
- الأسمدة الطبيعية المصنعه من المخلفات Compost : Cd, Cu, Ni, Pb, Zn
- مواد حافظة للأخشاب : As, Cu, Cr .

والأراضى الزراعية فى جميع انحاء العالم يتم إضافة الأسمدة الكيميائيـه أو العضوية إلى الأراضى الزراعية لزيادة إنتاجيتها ويوضح الجدول رقـــم (5-2) مدى تركيز العناصر الصغرى السامه فى هذه الأسمدة شاملة الأسمدة الكيميائية والأسمدة العضوية والأسمدة المصنعه من المخلفات .

جدول (2- 5) : مدى تركيز العناصر الصغرى والسامه فى الأسمدة الكيميائية والأسمدة العضويه والأسمدة الطبيعية المصنعه (mg/kg) .

العنصر	الأسمدة الفوسفاتية	الأسمدة النيتروجينيه	الأسمدة العضويه	الأسمدة المصنعه من المخلفات
As	2-1200	2.2-120	3-25	2-52
B	2-115	-	0.3-0.6	-
Cd	0.1-170	0.05-8.5	0.1-0.8	0.01-100
Co	1-12	5.4-12	0.3-24	-
Cr	66-245	3.1-19	0.01-0.36	0.09-21
Cu	1-300	-	2-172	13-3580
Hg	0.01-1.2	0.3-2.9	0.01-0.36	0.09-21
Mn	40-2000	-	30-969	-
Mo	0.1-60	1-7	0.05-3	-
Ni	7-38	7-34	2.1-30	0.9-279
Pb	7-225	2-27	1.1-27	1.3-2240
Sb	<100	-	-	-
Se	0.5	-	2.4	-
U	30-300	-	-	-
V	2-1600	-	-	-
Zn	50-1450	1-42	15-566	82-5894

* Kabata-Pendias and Pendias (1992). Trace elements in soils and plants. CRC Press. Boca Raton, FL.

ويتضح من الجدول رقم (5-2) أن الأسمدة الفوسفاتية والأسمدة المصنعه من المخلفات تعتبرا من أهم مصادر تلوث التربه بالعناصر السامة كما أن بعض الأسمدة العضويه الناتجة من مخلفات الخنازير والدواجن تحتوى على

تركيزات عالية من الزنك والنحاس وهما العنصران المستخدمان فـــى تغذيـــة الدواجن والخنازير لرفع كفاءة تحول الغذاء إلى لحوم .

ت . الحمـــأة Sewage sludge

تمثل البقايا الناتجة من معاملة مياه الصرف الصحى والصناعى (الحمـــأة) كميات كبيرة جدا فتبلغ كميات الحمأة الجافة حوالى 1.1 مليون طن/ســنة فــى انجلترا ، 5.4 مليون طن/سنة فى الولايات المتحدة الامريكيه ، 2.5 مليون طــن /سنة فى المانيا ، 0.7 مليون طن /سنة فى فرنسا ومن المتوقع أن تصل كميات الحمأة فى الدول الأوربيه حوالى 8 مليون طن/سنة فـــى عـــام 2006 . وفـــى بريطانيا يتم استخدام حوالى % 43 من الحمأة فى الزراعة والباقى يتم التخلـص منه فى مياه البحار بينما فى الولايات المتحده الأمريكيه تســـتخدم % 22 مـــن الحمأة الناتجة فى أغراض الزراعة . وتعتبر الحمأة مصـــدر هـــام للعنـــاصر الغذائية والمادة العضويه ولكن احتوائها على العديد من الملوثات غير العضويه السامة وكذلك الملوثات العضويه مثل PAH, PCBs والمبيدات يجعل استخدامها محدودا فى الزراعة .

وعلى الرغم من أن جميع أنواع الحمأة تحتوى على تركيزات عالية مـــن العناصر السامة الا أن الحمأة الناتجة من الصرف الصنـــاعى تحتـــوى علـــى ملوثات غير عضوية بتركيزات أعلى بكثير من الحمأة الناتجة من الصرف الصحى . وتعتبر العناصر Cd, Cu, Ni, Zn من أهم العنـــاصر التـــى تســـبب مشاكل فى الانتاج الزراعى عند اضافة الحمأة إلى التربه . ويوضح الجـــدول رقم (2-6) تركيز العناصر الصغرى والسامه فى الحمأة .

جدول (2-6) : مدى تركيز العناصر فى الحمأه والتركيز الأقصى للعناصر المسموح به فى الولايات المتحده الأمريكيه وأوروبا (mg/kg dry solids)

العنصر	الحد الأدنى	الحد الأقصى	أقصى تركيز مسموح إضافته	
			الولايات المتحده الأمريكيه	أوروبا
Ag	1	960	-	-
As	3	30	-	-
Cd	< 1	3410	85	20-40
Co	1	260	-	-
Cr	8	40600	3000	600
Cu	50	8000	4300	1000-1750
Hg	0.1	55	57	16-25
Mn	60	3900	-	-
Mo	1	40	-	-
Ni	6	5300	420	300-400
Pb	29	3600	840	750-1200
Sb	3	44	-	-
Se	1	10	-	-
U	< 2	5	-	-
Y	20	400	-	-
Zn	91	49000	7500	2500-4000

تعتبر الحمأة المضافه للأراضى هى المصدر الرئيسى للعناصر الثقيلة فى التربه نتيجة لارتفاع تركيزات العناصر الثقيلة فى الحمأة ومع ذلك فالترسيبات الجويه والمصادر الأخرى تضيف كميات أخرى من العناصر الصغرى والسامة إلى الأراضى التى يستخدم فيها الحمأة وبالتالى للمحاصيل الناميه فيها ولقد أظهرت التجارب أن تركيز العناصر الصغرى والسامة التى تمتصها

المحاصيل من الحمأة أقل بكثير من تركيز هذه العناصر الممتصة من مصادر التلوث الأخرى غير العضويه مثل تلك الناجمة من المناجم والأسمدة . وفى بعض المواقع التى يضاف إليها الحمأة بكميات كبيرة على مدى طويل ــ حوالى مائة عام فى بعض الحالات ــ فإن مستويات العناصر الثقيلة فيها عالية جدا .

ث :احتراق الوقود الحفرى Fossil fuel combustion

ينتج عن احتراق الوقود عدد كبير من العناصر الثقيلة والصغرى تشمل U, Mn, Cu, Ba, Se, Sb, As, Zn, Cr, Cd, Pb, والفاديوم (V) التى تنتشر على شكل حبيبات معلقة فى الهواء وتترسب على مساحات كبيرة من الأراضى أو تكون فى الرماد الذى يتم نقله إلى الأراضى ويلوث بالتالى التربه والماء . واحتراق البترول الذى يحتوى على إضافات من الرصاص يعتبر من أهم مصادر تلوث التربه بهذا العنصر فالغازات المتصاعده من عوادم السيارات التى تنتج عند احتراق البترول تحتوى على رصاص فى صورة Pb Br Cl الذى يتفاعل مع الملوثات الأخرى فى الهواء ويكون مركبات مثل $2\ Pb\ Br.\ Cl.\ NH_4\ Cl$. وتلوث التربه بالرصاص الناتج من عوادم السيارات يكون أعلى فى المدن وفى الأراضى المجاوره للطرق عنها فى الريف .

ج . الصناعات التعدينيه Matallurgical industries

تساهم الصناعات التعدينيه فى تلوث التربه بالعناصر الصغرى والسامه بطرق عدة منها :

(i) انبعاثات الايروسولات والغبار المحتويه على هذه العناصر التى تنتقل فى الهواء وتترسب على الأراضى والنباتات .

(ii) المخلفات السائلة الناتجة من هذه الصناعات والتى تلوث التربه عند حدوث فيضانات .

(iii) ينتج عن الصناعات التعدينيه مخلفات معدنيه تتآكل ويحدث لـــها غســيل فتلوث تحت سطح التربه .

ويستخدم العديد من العناصر فى صناعات السبائك والصلب مثــلى Ti, Ag, As, Be, Cd, Sb, Sn, Zn, Cu, Ni, Cr, Mo, Pb, Mn, V ولذلك فـــإن تصنيــع المعادن أو إعادة تدوير مخلفات المعدن ينتج عنها مخلفات تؤدى إلـــى تلــوث التربه بالعديد من العناصر فصناعة الصلب على سبيل المثال تعتـــبر مصـــدر مباشر للأيروسولات فى الجو والتى تحتوى على كثير من العنـــاصر الســـابق ذكرها والتى تصل فى النهاية إلى التربه وتلوثها .

ح. الصناعات الإليكترونيه

يستخدم فى صناعة أشباه الموصلات والموصلات والكوابل العديـــــد مـــن العناصر الثقيلة مثل Se, Hg, Gd, As, Sb, Cr, Sn, Pb, Ag, Zn, Cu ولذلك فهذه الصناعات ومخلفاتها تؤدى إلى تلوث التربه بالعديد من هذه العناصر .

خ . التخلص من المخلفات Waste Disposal

مخلفات المنازل ومخلفات الصرف الصحى والصناعى يمكن أن يؤدى إلـــى تلوث التربه بالعناصر الصغرى بطرق عديدة فالتخلص من مخلفات الصـــرف الصحى الصلبه بالقاؤها فى حفر Landfill يؤدى إلى تلوث التربه بالعنـــــاصر الصغرى مثل Cd, Cu, Pb, Sn, Zn وانتشارها إلى التربه والمياه الجوفيه والمياه الحره وعادة ما يكون التسرب من هذه الحفر على شكل مركبات كلوريد التـــى تكون عادة سهلة الذوبان والحركه خلال القطاع الأرضى وأقل ادمصاصا علـــى

حبيبات التربه . ايضا حرق المخلفات يمكـــن أن يـؤدى إلـــى انبعاثـــات ايروسولات عنصرى الكادميوم والرصاص . كما أن التخلص من المخلفات فى الأراضى المهجوره وتجميعها على شكل كومات Piles يمكن أن يـــؤدى إلـــى تلوث التربه خاصة اذا ما تركت فترة زمنية طويلة .

د. الحروب والتدريبات العسكرية Warfare and military training

الأراضى التى حدثت فيها المواقع الحربية وخاصة أثناء الحرب العالميـــة الأولى تلوثت بعنصر الرصاص الناتج من الذخيرة وعنصرى النحاس والزنــك الناتجين من فوارغ الذخيرة وايضا بالعديد من الملوثات العضويه الناتجة مـــن زيوت المدرعات والشحوم وغيرها وان كانت هذه الملوثات العضوية تحللـــت على مدى الزمن فإن العناصر الصغرى تبقى فـــى التربـــه لقـــرون عديـــدة . بالإضافة إلى أماكن المواقع الحربية فإن الأماكن التـــى يجـــرى فيـــها حاليـــا التدريبات العسكرى تتلوث حتما بالعناصر الصغرى . فكثير من المواقع التـــى استخدمت فى الأغراض العسكرية والموجودة فى الدول التابعة لحلف وارســـو المنحل ملوثه بالعناصر الصغرى والسامة وتعتبر مشكلة لهذه البلاد وذلك لقلـــة الاعتمادات المالية لتنظيف هذه المواقع .

٣. الترسيب الجوى Atmospheric Deposition

يعتبر الهواء الجوى وسط هام جدا لنقل العناصر الصغرى من العديد مـــن المصادر . فالتربه غالبا ما تتلوث بالعناصر الصغرى المنقوله بواسطة الـــهواء حيث يمكن أن تنتقل إلى مسافات كبيرة تصل إلى مئات الكيلومترات من مصدر التلوث . فالعناصر الصغرى توجد فى الهواء كحبيبـــات ايروســـول aerosol particles تختلف أقطارها بين 0.1 – 10 um ويتراوح متوسط فترة بقائها معلقـــة فى الهواء بين 30 – 10 يوم .

نسبة كبيرة من العناصر الموجودة فى الغبار الذى يترسب على الأراضـــى يكون مصدرها الأساسى هو النشاط الأنسانى مثل أحـــتراق الوقـــود الحفـــرى (الفحم ــ البترول) والغازات المنبعثة من عوادم السيارات وغيرها . ويوضـــح الجدول رقم (2-7) تركيز العناصر الصغرى الثقيلة فى هواء بعض المنـــاطق الصناعية فى العالم وأماكن البراكين ويتضح من الجدول أن أقل تركيز لـــــهذه العناصر يوجد فى القطب الجنوبى ويزداد التركيز فـــى الأمـــاكن الصناعيـــة ويلاحظ ايضا أن الأنبعاثات الناتجة طبيعيا من البراكين تحتوى على تركـيزات عالية من العناصر الصغرى حيث تعد البراكين المصدر الرئيســـى الطبيعـــى لتلوث التربه بهذه العناصر . والعناصر الموجودة فى الايروسول يمكن للأنسان استنشاقها وكذلك الحيوانات كما أن تأثيرها على البيئة يكون خطيرا خاصة عند ترسيبها على التربه وامتصاصها بواسطة النباتات أو غسيلها وانتقالـــــها إلـــى الأنهار والبحيرات والبحار .

ولقد قدرت كميات العناصر المترسبه فى بعض المناطق ووجد فى النرويج أن كمية الكادميوم المترسب من الهواء على الأراضى الزراعية يتـــراوح بيـــن $12 - 26\ um/g^3$ خلال موسم نمو واحد . وأن % 60 من هذه الترســـيبات تـــم امتصاصها بواسطة النبات وجد أن تركيز عناصر Pb, Cd, Zn, As, Sb فـــى الأراضى القريبة من المناطق الصناعية يعادل عشرة أضعـــاف تركـــيز هـــذه العناصر فى أراضى المناطق البعيدة عنها .

جدول (7-2) : متوسط تركيز بعض العناصر الصغرى فى الهواء فى مواقع مختلفة (ng/m^3)

العنصر	القطب الجنوبى	أوروبا (range)	أمريكا الشمالية (range)	أماكن البراكين Hawaii
Ag	< 0.004	1	1	30
As	0.007	16	15	(5.5 – 850)
Cd	< 0.015	(0.5 – 620)	(1 – 41)	(8 – 92)
Co	0.00005	(0.2 – 37)	3	(5 – 27)
Cr	0.005	25	60	60
Cu	0.036	340	280	(200 – 3000)
Hg	-	(0.01 – 2.8)	(0.01- 38)	18 – 250
Mn	0.01	43	150	55 – 1300
Mo	-	(<0.2 – 3.2)	(1 – 10)	-
Ni	-	25	90	330
Pb	0.63	120	2700	28 – 1200
Sb	0.0008	8	12	45
Se	0.006	3	5	9 – 21000
Zn	0.03	1200	500	1000

تركيز العناصر الصغرى فى الأراضى الملوثه

١. الأراضى الملوثه بالزرنيخ Arsenice polluted soils

حدد الأتحاد الأوروبى أقصى تركيز مسموح به للزرنيخ فى الأراضى المضاف لها الحمأة sewage sludge بـ 20 mg/kg بينما حددت وزارة البيئة فى المملكة المتحدة تركيز الزرنيخ المسموح به فى الأراضى المنزرعة 10 mg As/kg soil بينما الحد المسموح به فى الحدائق العامه والأماكن الترفيهيه للرياضة بـ 40 mg As/kg soil .

تلوث الأراضى بالزرنيخ قد يكون كبيرا فى الأراضى المحيطة بالمناجم ففى كندا وعلى بعد 0.28 كيلو متر من منجم استخراج الذهب وصل تركيز الزرنيخ فى التربه إلى 20.000 mg As/kg ويقل هذا التركيز مع البعد عن مصدر التلوث (منجم استخراج الذهب) فعلى بعد 8 كيلو مترات من نفس المنجم وصل تركيز الزرنيخ فى التربه إلى 600 mg As/kg (Hocking et al., 1978) .

٢. **الأراضى الملوثه بالكادميوم Cadmium- polluted soils**

تعتبر مناجم الرصاص والزنك وكذلك إضافة الحمأة بكميات كبيرة على مدى زمنى طويل من أهم مصادر تلوث الأراضى بعنصر الكادميوم . ولقد وجد أن تركيز الكادميوم فى الأراضى القريبة من منجم استخراج Pb – Zn فى بريطانيا North wales وصلت إلى 540 mg Cd/kg soil أما فى مونتانا بالولايات المتحده الأمريكية فلقد وصل تركيز الكادميوم فى الأراضى المحيطة بمنجم استخراج Zn حوالى 750 mg Cd/kg soil .

وقد أدى استخراج الزنك من المنجم الموجود فى Somerset بالمملكة المتحده لمدة ثلاثين عاما (1981 – 1951) إلى تلوث الأراضى بعناصر Pb, Zn, Cd ووصل متوسط ومدى تركيز mg/kg هذه العناصر فى 329 عينه تربه من هذه المنطقة ما يلى ,(7600) Zn 250-37200 , (2340) Pb 108–6540 Cd 2 – 360 (91) وقد وصل تركيز الكادميوم فى الخضروات النامية فى هذه المناطق حوالى 60 ضعف تركيز الكادميوم فى الخضروات النامية فى أراضى غير ملوثة (Morgan and Sims, 1988) أما الأراضى التى استخدمت فيها الحمأة بمعدلات عالية فقد وصل تركيز الكادميوم إلى 64 mg Cd/kg (Alloway, 1995) .

٣. الأراضى الملوثة بالنيكل والكروم Nickel – Chromium polluted soils

الحالة الصارخه التى توضح تلوث الأراضى بالنيكل حدثت فى اونتـــاريو بكندا فى الأراضى المحيطة بمنجم استخراج النيكل ويوضح الجـــدول التـــالى تركيز النيكل فى الأراضى على مسافات مختلفة من منجم النيكل .

جدول (2-8) : تركيز عنصر النيكل فى الأراضى القريبة من منجم اســـتخراج النيكـــــل فـــى Sudbury – Ontario – Canada
(Hutchinson and Whitby, 1974)

المسافة من المنجم (Km)	1.1	1.6	2.9	10.4	24.1	32.1	49.8
تركيز النيكل فى التربة mg/kg	5104	1851	1202	282	101	35	35

ولقد وضعت العديد من الدول الحدود العظمى لتركيز كـــلا مـــن النيكـــل والكروم فى الأراضى التى تستقبل مخلفات مثل الحمـــأة وغيرهـــا ويوضـــح الجدول رقـــم (2-9) هذه الحدود .

جدول (2-9) : الحدود القصوى لتركيز النيكل والكروم المسموح بها فى الأراضى التى تستقبل الحمأة

	Ni	Cr
الحدود Limit		
الاتحاد الأوروبى	30 – 75	-
الدنمارك	15	30
ألمانيا	30	100
فنلندا	60	200
فرنسا	50	150
ايطاليا	50	150
النرويج	30	100
أسبانيا	30	100
السويد	15	30
بريطانيا	75	400
الولايات المتحدة الأمريكيه	210	150
التركيزات فى الأراضى غير الملوثة		
ألمانيا	30	30
انجلترا	25	50

٤. الأراضى الملوثه بالنحاس Coppper-contaminated soils

تعتبر المناجم واستخراج المعادن هى المصدر الرئيسى للتلوث بالنحاس فى الأراضى المحيطة بهذه المناجم وغالبا ما يكون تركيز النحاس فى التربه أعلى ما يمكن فى الأراضى المجاوره حتى 3 كيلو متر ويقل تركيز النحـــاس فـــى الأراضى بالبعد عن مصدر التلوث والجدول التالى يوضح تركيز النحاس فـــى الأراضى المحيطة بمنجم استخراج Cu – Ni الموجود فى Sudbury بأونتـــاريو ــ كندا .

جدول (2-10) : تركيز عنصر النحاس فـــى الأراضـــى القريبـــة مـــن منجـــم استخراج النحاس الموجود فى Sudbury باونتاريو ــ كندا .

المسافة من المنجم (Km)	1.1	1.6	2.9	10.4	24.1	32.1	49.8
تركيز النحاس فى التربه (mg/kg)	2892	2416	1657	287	45	45	26

ترتبط التركيزات العالية من النحاس فى الأراضى للزراعية ارتباط وثيقـــا باستخدام مبيدات الفطريات لرش حدائق الفاكهة سنويا فحوالى 70 طـــن مـــن النحاس كمخلوط Bordeaux يستخدم سنويا لرش حدائق الموز والتفاح والموالح والعنب والمحاصيل الأخرى . ويتراوح تركيز النحاس فى هذه الأراضى بيـــن 110 – 1500 mg Cu/kg ويتضح مدى تلوث هذه الأراضى بالنحاس خاصـــة اذا علمنـــا أن تركيز النحـــاس فى الأراضى غيـــر الملوثـــه يتراوح بين 30 – 20 mg Cu/kg .

تمثل إضافات الحمأة بمعدلات عالية إلى الأراضى الزراعية مصدرا هامـــا

لتلوث الأراضى بعنصر النحاس فإضافة الحمأة بمعدل عالى جدا يكـافىء 805 mg/kg فى بنسلفانيا أدى إلى تلوث التربه بالنحاس لدرجة أن التربه لـم تعـد تصلح لزراعة أى نوع من المحاصيل فيها .

٥. الأراضى الملوثه بالرصاص Lead – polluted soils

تعتبر الإنبعاثات الناتجة من عوادم السيارات ودخان المصـانع المصـدر الرئيسى لتلوث الأراضى بعنصر الرصاص وبذلك نجد أن تركيز الرصـاص فى أراضى المدن أعلى بكثير من مثيلاتها فى القـرى ولقـد وصـل تركـيز الرصاص فى بعض الأراضى فى واشـنطن إلـى 5300 mg Pb/kg ، 550 mg/kg فى وارسو ـــ بولندا ، 212 mg/kg فى Adelaide باستراليا ، 1840 فى لندن بانجلترا (Preer et al. 1984,Czarnowska et al.1983,Davies et al, 1979)

٦. الأراضى الملوثه بالزئبق

أدى النشاط الإنسانى مثل التعدين وحرق الوقود الحفرى والمخلفات وبعض الأنشطة الصناعية إلى زيادة انبعاثات الزئبق وبالتـالى تلـوث الأراضـى . ويتراوح متوسط تركيز الزئبق فى الأراضى غير الملوثه بين 188 ng/g – 20 أما فى الأراضى الملوثه والقريبة من مناطق تعدين الزئبق فيصل التركيز فـى التربه إلى 100 mg Hg/kg .

٨.الأراضى الملوثه بالسيلينوم Seilenium polluted soils

أحد المناطق الزراعية الهامة فى كاليفورنيا والتى تعرضت للتلوث بعنصـو السيلينوم هى وادى San Joaquin التى تمتد بطول 400 كيلو متر وتعتبر مـن مناطق إنتاج الخضر الهامة فى كاليفورنيا . ويعتقد أن وجود السلينوم فى هـذه الأراضى يرجع إلى مصادر طبيعية منذ العصر الجيوارسـى Jurassic period حيث تعتبر هذه الأراضى ترسيبات من الحجر الرملى والطفله التـى تحتـوى

على سيلينوكبريتيدات الحديد Seleno-sulphides of Fe وتعرض هذه الترسيبات لعوامل الأكسدة أدى إلى تحرر أملاح السيلينيت والسيلينات واستخدام الرى فى هذه المناطق أدى إلى تملح التربه ولإزالة الأملاح تم استخدام معدلات غسيل عالية . ولما كانت هذه المنطقة تحتوى على طبقة غير منفذة فاستخدام معدلات غسيل عالية أدى إلى أرتفاع منسوب الماء الأرضى وتملح منطقة الجذور ولقد وصل تركيز السيلينوم فى مياه الصرف إلى 4000 ug/l فى حين أن تركيز السيلينوم فى نهر San Joaquin لا يتعدى 2 ug/l .

٩. الأراضى الملوثه بالزنك Zinc polluted soils

تزايدت تركيزات الزنك فى الأراضى فى الآونة الأخيرة وخاصة فى الدول الصناعية نتيجة للنشاط الانسانى ويعتبر النشاط التعدينى أهم مصادر تلوث الأراضى بالزنك فتحليل عينات الأراضى فى منطقة التعدين Somerset بالمملكة المتحدة أوضحت أن محتوى الأراضى من الزنك هناك يتراوح بين 250-37200 mg Zn/kg وفى اليابان يتراوح تركيز الزنك فى الأراضى الملوثه بين 1310-1780 mg/kg (Sims and Morgen, 1988) .

ايضا يعتبر إضافة الحمأة من المصادر الهامة لتلوث الأراضى بالزنك فلقد ارتفع تركيز الزنك فى التربه من 8.1 mg/kg إلى 1074 mg kg-1 نتيجة إضافة معدلات عالية من الحمأة إلى الأراضى (Juste and Mench, 1992) .

ب ـ النيتروجين Nitrogen

النيتروجين هو أحد العناصر الكبرى التي يحتاجها النبات لنموه وغالبا ما يوجد في التربه بتركيزات منخفضة لا تكفى حاجة النبات . والنتروجين الموجود في التربه يكون معظمة في صورة عضوية وبالتالى يكون غير صالح للنبات ولذلك تحدث عمليات بيولوجية في التربه يتم فيها تحويل النيتروجين من

صوره عضوية إلى صوره غير عضوية (NH_4^+, NO_3^-) صالحه للامتصاص بواسطة النبات والنيتروجين غير العضوى قد يمتص بواسطة النبات أو يفقد بالتطاير أو بالغسيل أو يتحول إلى مكونات عضوية فى أجسام ميكروبات التربه. أى أن النيتروجين العضوى والغير عضوى يتعرضان لعديد من العمليات التى تؤثر على صلاحية النيتروجين للنبات .

والمصدر الرئيسى للنيتروجين فى التربه هو الأسمدة النيتروجينية وتشمل الأسمدة النتراتية واليوريا والأسمدة الأمونيوميه والأسمدة المخلوطة . ولقد زاد استخدام الأسمدة النيتروجينية فى الزراعة زيادة كبيرة جدا فى الآونة الأخيرة على مستوى العالم فمن المتوقع أن تصل كمية الأسمدة المستخدمة فى عام 2000 إلى 100 مليون طن علما بأن إنتاج الأسمدة النيتروجينية فى العالم عام 1994 وصل إلى 92 مليون طن . ونتيجة الاستخدام المتزايد للأسمدة النيتروجينية فإن تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية أصبح أمرا خطيرا لابد من مواجهته فالأسمدة الأمونيوميه تتعرض للأكسدة وتتحول إلى نترات وتصبح عرضه للغسيل والفقد وأيضا التسميد بالأسمدة النتراتية يؤدى إلى فقد جزء كبير منها عن طريق الغسيل والنترات المفقودة من التربه عن طريق الغسيل سوف تؤدى حتما إلى تلوث المياه الجوفية والسطحية بالنترات وتتوقف كمية النترات المغسوله من قطاع التربه على عدة عوامل أهمها :-

(i) كمية المياه المتخلله التربه .

(ii) كمية النترات فى التربه .

(iii) نوع التربه .

(iv) نظام الزراعة .

وبوجه عام يكون الفقد أكبر ما يمكن فى الأرضى الرملية ويكـــون الفقــد قليلا فى الأراضى المزروعة بالأعلاف (حشائش) وكبيرا عند زراعة محاصيل ذات موسم نمو قصير . وعموما توجد علاقة قوية بين كمية النـــترات القابلــة للغسيل فى التربه ونظم أضافه النيتروجين كسماد إلى التربة .

أيضا تعتبر الأسمدة العضوية (مخلفات الحيوانات) والحمأة من المصـــادر الطبيعية للنيتروجين فى التربه ويتوقـــف محتـــوى الأســـمدة العضويـــة مـــن النيتروجين على تركيب أعلاف الحيوانات ونوع الحيوان وكيفيه تخزين وعمل السماد الطبيعى وبوجه عام فإن السماد الناتج من الدواجن يحتـــوى علـــــــى N 4% – 2 بينما السماد الناتج من الأبقار والخنازير فيحتوى على 0.6%N وفـى السنة الأولى من إضافة الأسمدة الناتجة من مخلفات الحيوانات يصبح حوالـــى 30% من النيتروجين فيها صالح للامتصاص بواسطة النباتات . تحتوى الحمأة الناتجة من الصرف الصحى على 20-60 g N/kg أغلبه فى صـــورة عضويـــة لذلك فإن إضافة معدلات كبيره من الحمأة إلى الأراضى الزراعيـــة يمكـــن أن يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية والسطحية بالنترات .

جـ ـ النظائر المشعه Radionuclides

تتواجد النظائر المشعه الطبيعية والمصنعة فى التربه والعديـــد مـــن هـــذه النظائر المشعه لها فترة نصف عمر طويلة ولها المقدرة على التجمع الحيـــوى فى الكائنات الحية . تشمل مصادر النظائر المشعه المصنعة اختبارات الأسـلحة النووية ـ حوادث المفاعلات النووية ومحطات الطاقة ـ حوادث نقل الوقـــود الذرى والمخلفات السائلة للمفاعلات النووية .

ولقد إعترى العالم بأسره القلق من تلوث التربه بالنظائر المشعه عند إجراء أول اختبار نووى عام 1950 حيث تسربت كميات هائله من ^{137}CS و ^{90}Sr إلـى

البيئة وما يتبع ذلك من دخول ^{137}CS فى السلسلة الغذائية ومثال ذلــك تجمــع ^{137}CS فى الأجزاء التى تؤكــل مــن نبــات White deer tail (Odocoileus Virginianus) فى المواقع القريبة من محطــات الطاقــة بالولايــات المتحــدة الأمريكية (Aiken, SC) حيث الأرض رملية أيضا لوحــظ تجمــع ^{137}CS فــى النباتات النامية فى الأراضى القريبة من مواقع اختبارات الأسلحة النووية علمـا بأن سلوك السيزيوم فى الأراضى والنباتات يشابه تماما سلوك البوتاسيوم لذلـك فإن نوع معادن الطين فى الأرضى يؤثر تأثيرا كبيرا على صلاحية الســيزيوم بالنسبة للنبات .

العنصر المشع ^{90}Sr له فترة نصف عمر 28 سنة ويتســرب إلــى البيئــة ويلوثها نتيجة لاختبارات الأسلحة النووية ولحوادث محطات الطاقة النوويــة و لذلك يلقى تلوث التربه بالسترنشيوم كثير من الاهتمام لأن سلوكه يشابه ســلوك الكالسيوم فى السلسلة الغذائية وبالتالى يمكن أن يترسب فــى العظــام نتيجــة لوجوده فى منتجات الألبان والأغذية الأخرى .

التخلص من النفايات النووية الناتجة من مصانع الأسلحة النووية ومحطـات الطاقات النووية بالقائها فى التربه أدى إلى تلوث التربه بالنظائر المشعه الناتجة من تحلل اليورانيوم والبلوتونيوم مثل ^{239}Pu ، ^{241}Am حيث يمكن أن تدمــص هذه النظائر المشعة على سطوح حبيبات التربة وترتبط بالمادة العضوية فــى التربه .

الرأى العام العالمى فى قلق دائم من تلوث البيئة بالنظائر المشــعه وذلـك لخطورة التعرض للإشعاعات الذرية على الصحة العامــة ولقــد أدت حادثــه تسرب الإشعاعات النووية من المفاعل النووى فى تشرنوبيل عــام 1986 إلــى تقوية هذه المخاوف حيث أن هذه الحادثة تعتبر أسوأ كارثة هددت البيئــة فــى

عصرنا الحاضر ليس فقط فى أوكرانيا وانما امتدت أثارها إلى العديد من الدول مثل الدول الأسكندنافيه ودول غرب وشرق أوروبا . ولقد أثرت هذه الحادثة على المناطق الزراعية فى روسيا وأوكرانيا بيلوروسيا تأثيرا كبيرا حيث تراوح تركيز الإشعاعات فى حوالى 2 مليون هكتار بين $5\text{-}80\ Ci\ km^{-2}$ وبالتالى تعدى التركيز الإشعاعى فى هذه الأراضى الحد المسموح به عالميا وأدى ذلك إلى خروج هذه الأراضى من الإنتاج الزراعى كله .

مصادر الملوثات فى مواقع التلوث :

ينتج التلوث فى المواقع نتيجة مصادر مختلفة كما هو موضح فى جدول (2-11) . فالقسم الأول يشمل مصادر تم تصميمها للتخلص من المخلفات للأستفادة من مقدرة التربه على معالجة المخلفات والطريقة الشائعة والرخيصة للتخلص من مياه الصرف الصحى والصناعة والحمأة هو إلقائها فى التربه أو استخدامها فى الزراعة . فحوالى 50% من الحمأة الناتجة من الصرف الصحى تضاف إلى التربه (USEPA, 1983) علما بأن الاستخدام غير الآمن للحمأة واضافتها للتربه بمعدلات كبيرة يمكن أن يؤدى إلى تلوث التربه والماء الجوفى بالمواد العضويه السامه ؛ النترات والفوسفات والعناصر السامه غير العضويه.

القسم الثانى يشمل مصادر تنتج من أماكن تخزين المواد ، أماكن معالجة المخلفات ، أماكن التخلص من المخلفات وهى تشمل Landfills ، الأماكن المفتوحة لألقاء القمامة وغيرها .

أما القسم الثالث فيشمل مصادر تنتج عنه تسرب للمخلفات نتيجة حوادث مثل حدوث كسر فى أنابيب نقل الغاز والبترول أو حادثة للسيارات التى تنقل البترول أو المواد الخطره والمواد التى تنتج من هذا المصدر لا تعتبر مخلفات وانما مواد خام يتم نقلها من مكان إلى آخر للأستفادة منها .

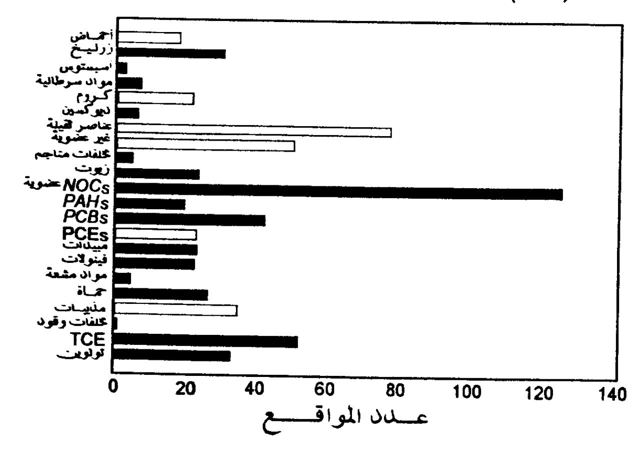
القسم الرابع فيشمل المصادر المتعلقة بالزراعة مثل استخدام المبيدات والأسمدة فى الزراعة وعمليات تربية الحيوان و الترسيب الجوى الناتج من انبعاثات الغازات من المصانع والقسم الخامس والأخير يشمل المصادر الطبيعية التى تنتج عنها تسرب للملوثات ولكنها زادت عن المعدل الطبيعى نتيجة للنشاط الإنسانى .

جدول (2-11) : مصادر التلوث

١.مصادر تنتج من استخدام المخلفات : الرى بمياه الصرف الصحى الصناعى ، استخدام الحمأه فى الزراعة .
٢.مصادر تنتج من تخزين ومعالجة ، التخلص من المخلفات ، Landfills مخلفات الصناعة ــ مخلفات المدن .
▪ أماكن تجميع القمامه .
▪ مواقع التخلص من النظائر المشعه .
٣.مصادر تنتج من الحوادث عند نقل المواد واستلامها أنابيب نقل الغاز والبترول .
٤. مصادر تنتج من استخدام المواد
▪ استخدام المبيدات والأسمدة فى الزراعة .
▪ التعدين ومخلفات المناجم .
٥. مصادر طبيعية يحفزها النشاط الانسانى
٦. المناطق القريبه من المناجم .

ويوضح الجدول (2-12) نوع الملوثات الناتجة من المصادر المختلفة شاملة الملوثات العضويه وغير العضويه . ويلاحظ أن أغلب المواقع الملوثه التى تم حصرها فى الولايات المتحده الأمريكيه تحتوى على ملوثات أغلبها عضوى

مثل الهيدروكربونات العطريه ، الهيدروكربونات المكلوره ، الكيـــل البـــنزين وغيرها شكل (2-11) .



شكل (2-11) : الملوثات الرئيسية فى مواقع التلوث (superfund sites) فى الولايـــات المتحده الأمريكيه (Boulding , 1995)

جدول (2-12) : تقسيم أنواع ومصادر ملوثـــات التربـــه فـــى هولنـــــــــدا (Boulding 1995)

مصدر التلوث	نوع التلوث	%
أعمال غاز	هيدروكربونات عطريه وفينولات	45
أمـــاكن إلقـــاء المخلفـــــات ، Landfills	هيدروكربونات عطريه ـــ مبيـــدات As, alkyl – benzenes, Pb, Cd, Ni, CN⁻	26
صناعة الكيماويـــــات ومـــواد الطلاء والمدابغ	هيدروكربونات هالوجينيه Alkyl – benzenes وعناصر As, Zn , Cr, Pb	13
صناعـــة المنظفـــات وطـــلاء المعادن	بنزين ـــ تلوين ـــ تراى كلورو ايثيليــــن Cd, Cr, Zn, CN⁻	9
مواقع مصانع المبيدات	مبيدات -Hg, As, Cu	4
أماكن صيانة السيارات	هيدروكربونات ـــ Pb	3

ينتج عن العمليات الصناعية المختلفة العديد من المخلفات الصلبة المحتوية على مواد غير عضويه وهذا يشمل الغازات المنبعثة من دخان المصانع ، ذرات الغبار المتطايره الناتجة من الأحتراق وغيرها وهذه المخلفات قد تترسب فوق سطح التربه بارتفاعات كبيرة (كومه) . ايضا الحمأة المتخلفة من المصانع قد تحتوى على هيدروكسيدات العناصر ومواد كربوناتيه وسليكاتيه ومواد عضويه وهذه الحمأة تكون على شكل معلق كثيف القوام وتأخذ الحمأة المتخلفة من الصناعات أشكال مختلفة تبعا لنوع الصناعة وغالبا ما تكون غير متجانسة.



إزالة الملوثات من التربه

Soil Decontamination

❖ تقنيات إزالة الملوثات من التربه

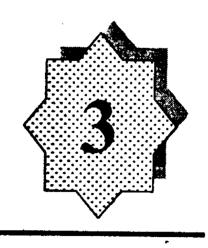
* في مواقع التلوث
* بعيدا عن مواقع التلوث

❖ معالجة الأراضى الملوثه باستخدام النباتات

* تثبيت الملوثات
* تقييد حركة الملوثات
* استخلاص الملوثات
* تحلل الملوثات
* تطاير الملوثات

❖ زيادة كفاءة المعالجة النباتيه للأراضى الملوثه

❖ مميزات وحدود استخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثه



إزالة الملوثات من التربه

Soil Decontamination

يوجد العديد من المحاولات لإزالة الملوثات من التربـــه وذلــك بأســتخدام تقنيات مختلفه (جدول 3-1) . وللأسف فإن هذه التقنيات غير كافيـــه لإزالـــة الملوثات وغالبا ما يستخدم أكثر من تقنيه لتنظيف التربه حيـــث أن الـــتركيب المعقد للتربه ووجود العديد من الملوثات يجعل إزالة الملوثات من التربه أمـــرا صعبا ومكلفا .

تقنيات إزالة الملوثات من التربه

أ. الطرق المستخدمه فى موقع التلوث In Situ Methods

وتستخدم هذه الطرق فى موقع التلوث ولا يتم فى هذه الطرق نقل التربـــه من موقعها مما يخفض من إحتمالات تلوث مناطق أخرى .

١. التطاير Volatilization

وتتم هذه التقنيه فى الموقع وذلك عن طريق إمرار تيار من الهواء خـــلال أنابيب شبكيه تسمح بسريان الهواء فى التربه . وفى هذه الحاله تستخدم بعـــض المعاملات مثل الكربـــون النشـــط activated carbon لإدمصـــاص الملوثـــات

المتطايره وهذه التقنيه محدوده فقط للمركبات العضويه الكربونيه المتطايره .

٢.التحلل البيولوجى Biodegradation

وفى هذه الطريقه يتم زيادة قدرة الكائنات الحيه الدقيقه على تحلل الملوثات طبيعيا وذلك عن طريق زيادة أعدادها ونشـاطها . وتتـأثر عمليـه التحلـل البيولوجى للملوثات بالصفات البيئيه والكيمائيه للتربه مثل الرطوبـه ودرجـه الحموضه pH ، درجـة الـحرارة والميكـروبـات الموجـودة وصـلاحـيه العناصـر . وتتم عمـلية التحـلل البيولوجى فى التربـه تحـت الظـروف الهوائيه وفى مدى pH تتراوح بين 5.5-8 (المثلى pH = 7) ودرجـة حـرارة تتراوح بين 293-313 k . ويجب أن تأخذ فى الأعتبار أن الميكروبات قد تكـون فعاله فى تحلل ملوث ما دون الآخر .

٣.الغسيل Leaching

وفى هذه الطريقه يتم غسيل التربه بالمـاء وغالبـا مـا يسـتخدم أيضـاً Surfactants (ماده نشطة سطحياً تتكون من مناطق محبه للماء وأخرى كارهه للماء وتعمل على تخفيض التوترالسطحى) لإزالة الملوثات . ويتم تجميع المـاء بعد الغسيل بأستخدام نظام تجميع ثم التخلص منه . واستخدام هـذه الطريقـة محدوده للغاية لأنه يتطلب استخدام كميات كبيره من الماء لإزالـه الملوثـات بالأضافه الى أن التخلص من الماء وما يحتويه من ملوثات يكون مكلفا للغايه .

وكفاءة عملية الغسيل تعتمد على نفاذية ومسامية وقوام التربه والـتركيب المعدنى للتربه ودرجه تجانس التربه . حيث أن كل هذه العوامل تؤثـر علـى درجه تحرر وإنطلاق desorption (release) الملوثات من التربه ومعدل غسـيل الملوثات خلال التربه .

جدول (3-1) : التقنيات المختلفه المستخدمه فى إزاله الملوثات من التربه

التقنيه	المميزات	العيوب	التكلفه النسبيه
في موقع التلوث In Situ			
- التطاير Volatilization	تستطيع ازالة المركبات المقاومه للتحلل البيولوجي	محدوده فقط للمركبات العضويه المتطايره	منخفضة
- التحلل البيولوجى Biodegradation	فعاله بالنسبه للمركبات غير المتطايره	تحتاج الى وقت طويل long-term time frame	متوسطة
- الغسيل Leaching	يمكن استخدامها فى العديد من المركبات	غير شائعة الأستخدام	متوسطه
- العزل / الأحتواء isolation/ containment	تمنع أنتقال الملوثات طبيعيا physically	لايتم التخلص من الملوثات	قليلة-متوسطة
- phytoremediation	فعالة للعناصر الثقيلة	تحتاج لتكنولوجيا خاصة لإستخلاص الملوثات من النبات	قليلة
في غير موقع التلوث None - in situ			
- معالجة التربه Land treatment	تستخدم عمليات التحلل الطبيعيه	يتبقى بعض الملوثات	متوسطة
- المعالجه الحراريه Thermal treatment	يحتمل التخلص نهائيا من الملوثات	تحتاج الى معدات خاصه	عالية
- أستخدام الأسفلت Asphalt incorporation	يستخدم المعدات الموجوده	ازاله غير كامله للمركبات الثقيله	متوسطة
- التصلب Solidification	تجعل المركبات غير متحركه	غير شائعه الأستعمال فى التربه	متوسطة
- الأستخلاص الكيميائى Chemical extraction		غير شائعه الأستعمال فى التربه	عالية
- إزالة التربه Excavation	ازالة التربه من الموقع	إمكانية نقل الملوثات	متوسطة

٤.العزل Isolation / Containment

وفى هذه الطريقه يتم عزل الملوثات فى مكانها ومنعها من الأنتشار وذلك بأستخدام عازل طبيعى physical barrier مثل الطين وذلك لتقليل الهجره الأفقيه. وحديثا فإن العلماء يدرسون استخدام Surfactants مع الطين وذلك

لزياده أمتصاص الملوثات العضويه على سطوح هذه المواد وبالتالى تقلل من حركه الملوثات mobility of pollutants .

ب. الطرق المستخدمة بعيدا عن موقع التلوث

Non- in Situ Methods

وفى هذه الطرق يتم إزالة التربه الملوثه ومعالجتها فى نفس المكان أو نقلها الى مكان آخر ثم معالجتها . ويعيب هذه الطرق احتمالات نقل التلوث الى مناطق أخرى خلال عمليات النقل والمعالجة .

١.معالجة الأرض Land Treatment

وفى هذه التقنيه يتم إزالة التربه ونشرها على مساحه من الأرض حتى يمكن للعمليات الطبيعيه مثل التحلل البيولوجى والتحلل الضوئى أن تأخذ مجراها للتخلص من الملوثات . وفى هذه الطريقة يتم ضبط درجة حموضة التربه إلى pH = 7 لخفض حركة العناصر الثقيلة ولزيادة نشاط وفعالية ميكروبات التربه كما يتم أيضا إضافة المغذيات لتنشيط الميكروبات وبعد ذلك تخلط التربه الملوثه مع تربه أخرى وذلك لزيادة التلامس بن الملوثات والميكروبات وخلق ظروف هوائيه .

٢.المعالجة الحراريه Thermal Treatment

وفى هذه الطريقة يتم تعريض التربه لدرجه حراره عاليه بأستخدام فرن حرارى. وتعمل درجة الحراره العالية على تكسير الملوثات وتنطلق غازات ويتم تجميع الغازات وحرقها أو أستخلاصها بواسطة مذيبات .

٣.إستخدام الأسفلت Asphalt Incorporation

وفى هذه الطريقه يتم أضافة الأسفلت الساخن الى التربه وخلطها وأستخدام المخلوط فى رصف الطرق . وهذه الطرقه تعمل على إزاله بعض الملوثات من

التربه بالتطاير والجزء الباقى يصبح غر متحرك لخلطه بالأسفلت .

٤.التصلب Solidification / Stabilization

وفى هذه التقنيه يتم إضافة بعض المواد إلى التربه المزالة وذلك لتغطيتها بماده صلبه أى أن التربه تتحول الى ما يشبه الكبسولة encapsulated . وبعد ذلك يستخدم المخلوط فى Landfill . وبذلك تصبح الملوثات غير قادره على الحركه ويعيب هذه الطريقة أن الملوثات لم يتم التخلص منها . وغالبا ما تستخدم هذه الطرقه لتقليل التلوث بالملوثات غير العضويه .

٥.الإستخلاص الكيميائى Chemical Extraction

وفى هذه التقنيه يتم خلط التربه المزاله بمذيب او Surfactant أو مخلوط منهما . وذلك لفصل الملوثات واستخلاصها من التربه . وبعد ذلك يتم غسل التربه للتخلص من المذيب وما يحمله من ملوثات ثم يتم ترشيح المذيب بعد ذلك ومعاملته لإزالة الملوثات وهذه التقنيه عاليه التكاليف ونادرا ما تستخدم .

٦.إزالة التربة Excavation

وفى هذه الطريقة يتم نقل التربه الملوثه الى مكان آخر وغالبا ما يكون Landfills التى تحتوى على حواجز طبيعية تمنع حركه الملوثات . وعمليتى ازالة ونقل التربه تكلفتهما عاليه بالأضافة الى أن نقل التربه الى مكان آخر قد يؤدى الى تلوث الماء الأرضى .

يتضح مما سبق أن التكنولوجيات المستخدمة لإزالة الملوثات من التربه هى فى الأعم الأغلب مضيعه للوقت ومكلفة للغاية بالإضافة إلى إمكانية خلق مخاطر إضافيه للعاملين وإنتاج مخلفات ثانوية . لذلك فإنه من البديهى أن نتطلع إلى تكنولوجيا جديدة يتم تطويرها بحيث تصبح قادرة على إزالة الملوثات من مواقع التلوث بكفاءة عالية وتكلفة معقولة . وتعتبر التكنولوجيا

الحيويه أحد البدائل الواعدة لإزالة الملوثات من التربه عن طريـــق تنشـــيط العمليات الطبيعية فى التربه ويمكن للنباتات أن تلعب دورا هاما فى هذا الشأن وبتكلفة بسيطة بالمقارنة إلى الخيارات الأخرى . ولذلك فسوف نتكلم فى هــذا الفصل عن معالجة الأراضى الملوثة باستخدام النباتات phytoremedition .

معالجة الأراضى الملوثه بإستخدام النباتات (Phytoremediation)

يستخدم phytoremediation أساسا للتعبير عن إمكانيــة اســتخدام أنــواع النباتات ذات القدرة العالية على امتصاص وتجميع وتركيز مستويات عالية مـن العناصر فى أنسجتها وذلك لمعالجة الأراضى الملوثة . وأغلب هــذه النباتــات تكون عشبية محدودة النمو وتنمو فى مواقع المناجم القديمة الغنية بالعنــاصر . ولذلك تتركز الجهود الآن على تحسين نمـــو النباتــات المجمعــة للعنــاصر hyperaccumulation لاستخدامها فى معالجة الأراضى الملوثة . ومن الناحيــة الأخرى ولمحدودية المجموع الخضرى للنباتات المجمعة للعناصر فإنه يجــرى دراسة أستخدام وتقييم بدائل من النباتات ذات المجموع الخضرى الكبير مثـــل الأشجار والحشائش لاستخدامها فى المعالجة على الرغم من ضعف مقدرة هــذه النباتات نسبيا على تجميع العناصر بالمقارنة بالنباتات العشبية الأخرى .

مجال استخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثة فى الوقــت الحــاضر أصبح أكثر اتساعا ليشمل جميع العمليات التى تستخدم فيها النباتـــات بـــهدف احتواء (عزل) أو إزالة الملوثات مثل خفض حركة وتحلل وتطاير الملوثـــات غير العضويه مثل العناصر الثقيلة والنظائر المشعه والملوثات العضويه .

وفى هذا الفصل سوف يتم التركيز على استخدام النباتات بجميع أنواعها بما فى ذلك المحاصيل الحقليه فى معالجة الأراضى الملوثة بالمواد العضويه وغير

العضويه . ولما كانت المعالجة النباتية للأراضى الملوثه تعتبر تقنيه جديدة فإن معظم الدراسات التى أجريت عليها هى عبارة عن تجارب معملية أو تجـــارب صوبه أو تجارب حقليه على نطاق ضيق كان الغرض منها إختبار وتطويـــــر هذه التقنيه الجديدة .

العمليات الأساسية فى معالجة الأراضى الملوثه باستخدام النباتات Phytoremediation

تعرف phytoremediation بأنها التقنيه التى تستخدم النباتـــــات الخضـــراء لمعالجة الأراضى الملوثة بالكيماويات والمواد المشعه . وتوجد خمس عمليـــات أساسية يمكن عن طريقها استخدام النباتات لمعالجة الأراضـــــى والرســـوبيات والمياه الملوثة . وهذه العمليات ينتج عنها إزالة الملوثات من التربه أو إحتوائها وذلك تبعا لاستيراتيجية المعالجة شكل (3-1) .

عمليات المعالجة النباتيه Phytoremediation Proceeses

أ. <u>عمليات عزل الملوثات Containment processes</u>

وهذه تنقسم إلى :

(أ) تثبيت بواسطة النباتات Phytostabilization

وتعرف بأنها استخدام النباتات المقاومه للملوثات بغرض التثبيت الميكانيكى للتربه الملوثه وذلك لمنع إنتقال حبيبات التربه الملوثه بواسطة عوامل التعريـــه والهواء إلى البيئات الأخرى . بالإضافة إلى أن غسيل الملوثات يقل بشدة نتيجة لارتفاع معدل البخر ــ نتح من التربه المنزرعـــه بالمقارنـــة بالتربـــه غـــير المزروعه .

(ب) تقييد الحركه بواسطة النباتات Phytoimmobilization

وهى استخدام النباتات لتقييد حركة وانتقال الملوثات الذائبه فـــى التربـــه . ويعتبر هذا التعريف هو تعديل لتعريف phytostabilization والذى نعتقد أنه

تعبر تعبيرا صحيحا عما يحدث فى الواقع .

ب. عمليات إزالة الملوثات Removal Processes

وتنقسم عمليات إزالة الملوثات إلى :

(i) عمليات الأستخلاص بواسطة النباتات phytoextration processes

وهى عمليات إستخلاص المكونات العضويه و**المعدنيه** مـــن التربـــه عـــن طريق الأمتصاص بواسطة النباتات وإنتقالها **إلى المجموع** الخضرى الموجـــود فوق سطح التربه (Salt et al., 1995a) .

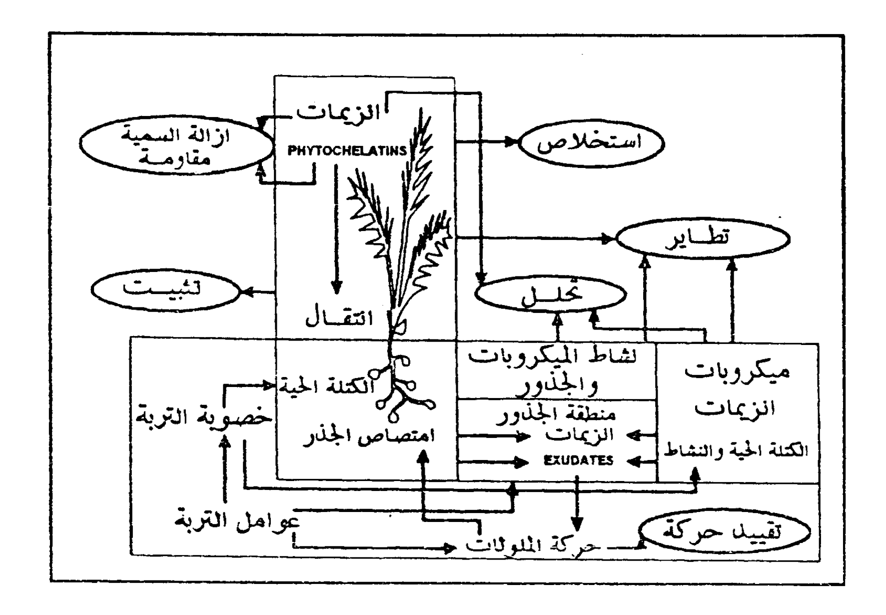
(ii) عمليات التحلل بواسطة النباتات Phytodegradation

وهى عمليات الامتصاص والتحلل داخل **النبات أو** تحلل المواد العضويـــــه بواسطة النباتات بمساعدة الميكروبـــات فـــى **منطقـــة الجـــذور** Rhizosphere (Cunningham, 1995) .

(iii) عمليات التطاير بواسطة النباتات Phytovolatilization

وتتم عن طريق إنزيمـــــــــات متخصصة **يمكنها** تحوير وتحلـــل وفـــى النهاية تطايـــر الملوثات فى نظام التربـــــــه ــ النبـــات والميكروبـــات (Meagher & Rugh, 1996) .

وعن طريق الثلاث عمليات السابقة **(الاستخلاص والتحلل** والتطاير بواسطة النباتات**)** يمكن التخلص من ملوثات التربه **وتتوقف** درجة إزالة الملوثات مـــن التربه على نوع الملوثات والخواص الجيوكيميائيه **للتربه** . ونتيجة لأن البكتريا والفطريات فى التربه مع الجذور تلعب دورا **هاما** فى **هذه** العمليات فإننا ســوف نشير إلى المعالجة النباتية بأنها نظام **المعالجة النباتية والميكروبيه** .



شكل (3-1) : رسم تخطيطى مبسط يوضح العمليات التى تجرى عند استخدام النباتات لمعالجة الأراضى الملوثه (لعمليات الرئيسية توجد فى الأشكال البيضاويه).

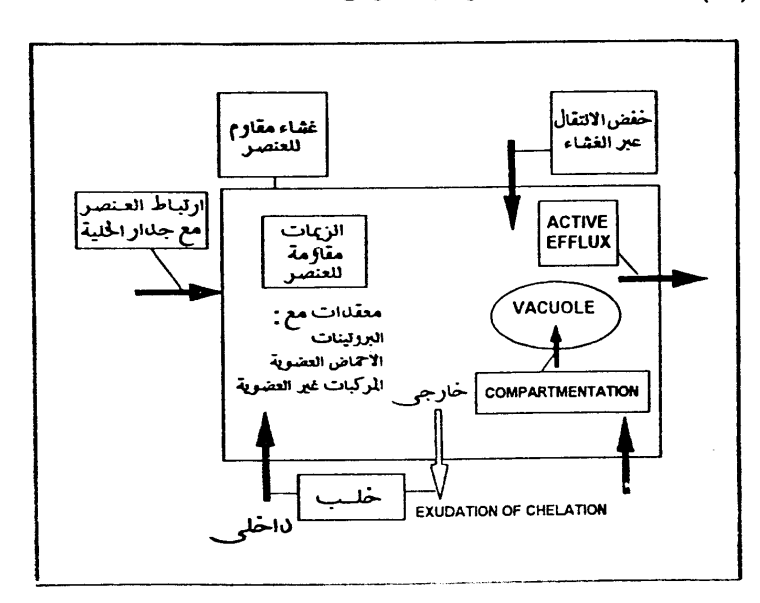
النباتات المتحمله للملوثات Plant tolerance to pollutants

تكنولوجيا استخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثة تعتمد أساسا على مقاومة النباتات للملوثات والتى تعنى مقدرة النباتات على تجميع تركيزات عالية من المواد السامه فى أنسجتها دون أن تتأثر دورة حياتها . ولكى يتم تطوير النباتات المتحملة للملوثات يجب أولا فهم كيفية مقاومة النباتات للأثر السام والضارللملوثات العضويه وغير العضويه .

تحمل النباتات للعناصر الثقيلة

يوضح الشكل (3-2) الميكانيكيات المقترحه لكيفية تحمل النباتات للعناصر الثقيلة . فيعزى مقاومة النباتات للعناصر الثقيلة إلى ما يلي :

(i) إرتباط العنصر بجدران الخلايا .
(ii) وجود غشاء مقاوم للعناصر الثقيلة .
(iii) النشاط الزائد للخلايا للتخلص من العناصر الثقيلة .
(iv) وجود إنزيمات مقاومه للعناصر الثقيلة .
(v) حصر العناصر الثقيلة فى مكان واحد مثل تجمع العناصر فى فجوات الخلايا vacuoles
(vi) خلب العناصر بواسطة الروابط العضويه أو غير العضويه .
(vii) تركيب مركبات العنصر قليلة الذوبان .



شكل (3-2) : ميكانيكيات تحمل النباتات للعناصر الثقيلة

ولقد أوضح العلماء (Obata et al., 1996, Thurman, 1981) حدوث عمليات بيوكيميائيه تساعد على مقاومة النبات للعناصر الثقيلة فحمض الفوسفاتير فـــى جدران الخلايا و Atpase فى غشاء بلازما خلايا الجذور يلعبان دورا هاما فـــى التحولات التى تحدث للعناصر الثقيلة والتى تؤدى إلـــى إزالـــة الاثـــر الســـام للملوثات فى النبات .

توجد الآن بعض النظريات تعزى مقاومة النباتات للعناصر الثقيلـــة إلـــى وجود جين معين متخصص فلقد أثبتت (1995) Ortiz et al وجود جين مقـــاوم للعناصر الثقيلة داخل بعض النباتات يعمل عى التحكم فـــى إنتقـــال الـــ Cd المخلوب عبر غشاء النواه إلى مكان التخزين فى خلايـــا الخمـــيرة المقاومـــة للكادميوم . وعموما وحتى الآن لم يثبت بالدليل القاطع أن مقاومـــة النباتـــات للعناصر الثقيلة يرجع إلى حين واحد فقط أم إلى مجموعة من الجينات داخـــل النبات .

ويعتبر حصر التركيزات الزائدة من العناصر فـــى الفجـــوات العصاريـــه (vacuoles) للخلايا أو فى الأوراق إستراتيجية فعاله يتبعها النبات لتفادى التأثير السام لهذه العناصر . ولقد ثبت بالفعل تجمع عنصرى الكادميوم والزنـــك فـــى فجوات خلايا النباتات المقاومه للعناصر (Brune–Vdzquez 1994) .

كما أن تجمع العناصر فى الأوراق وســـقوط الأوراق فيمـــا بعـــد تعتـــبر ميكانيكية محتمله يتبعها النبات لمقاومة العناصر الثقيلة . فـــإذا كـــانت بعـــض النباتات المقاومه تتبع هذه الاستراتجية لتحمل العناصر الثقيلـــة وكـــان كميـــة الأوراق المتساقطة كبيرة فهذا يعنى أن هذه النباتات يجـــب ألاتســـتخدم فـــى المعالجة النباتية للأراضى الملوثة .

وسوف نتعرض فيما يلى إلى الاستراتيجيات التى يوظفها النباتات لمقاومة التأثيرات السامه لعناصر Cu, Cd, Zn .

المقاومه لعنصر النحاس

تحتاج النباتات عنصر النحاس لأنه ضرورى لتفاعلات الأكسدة والأختزال وإنتقال الالكترونات وتفاعلات الإنزيمات داخل خلايا النبات . ومع ذلك فزيادة تركيز النحاس الحر Cu^{++} فى الخلايا يمكن أن يتلف جميع العمليات الحيويه من خلال الأكسدة والتبادل الأيونى (Fernandes & Henriquas, 1991) . ويعتقد phytochelation يلعب دورا كبيرا فى مقاومة النباتات لزيادة تركيز النحاس فى الخلايا .

المقاومه لعنصر الزنك Zinc Resistance

زيادة عنصر الزنك قد يؤدى إلى سميه للنبات ويمكن للنباتات أن يتحمل التركيزات العالية من الزنك عن طريق حلب الزنك الحر بواسطة الأحماض العضويه وتجميعها فى الفجوات وبعزل الفجوات Vacuoles من نباتات الشعير والدخان وجد أنها تحتوى على تركيزات عالية من الزنك (Brune et al. 1994). وهذا ايضا تم إثباته فى نبات Alpine pennygrass الذى له خاصية تجميع الزنك (Vazques et al . 1994) . كما وجد ايضا أن هذا النبات يحتوى على تركيزات عالية من السترات فى السيقان .

المقاومه لعنصر الكادميوم Cadmium Resistance

على النقيض من إحتياج النباتات لعنصر الزنك والنحاس فإن الكادميوم يعتبر من العناصر التى لا يحتاجها النباتات لاستكمال دورة حياته لذلك فإن وجود الكادميوم بتركيزات منخفضة يمكن أن يكون سام للنباتات . وتقوم النباتات بتخليق الفيتوكيلاتين Phytochelatin (PC) الذى يرتبط بالكادميوم مما

يساعد النباتات على مقاومة التركيزات العالية من الكادميوم .

ولقد وجد أن هذه البيتيدات peptides المخلقه إنزيميا ضروريــة لمقاومــة بعض النباتات للتركيزات العالية من الكادميوم ومثال ذلك نبــات A. thaliana (Howden et al. 1995) . الذى فيه يرتبط الفيتوكلاتيــن Phytochelation مــع تركيزات كبيرة من الكادميوم وتكون معقد الكادميوم ــفيتوكلاتين . وتــتراوح نسبة الكادميوم المرتبط بالفيتوكلاتين داخل النبات بين 59% – 19 من الكادميوم الكلى كما يمكن للنباتات أن تقاوم الكادميوم بتجميعه فى الفجــوات العصاريــه للخلايا .

ب.تحمل النباتات للملوثات العضويه

تختلف النباتات إختلافا كبيرا فيما بينها فــى درجــة مقاومتــها للملوثــات العضويه ولذلك فإن أهم متطلبات عملية اختبــار النباتــات لغــرض معالجــة الأراضى الملوثة . هو قدرة هذه النباتات على النمو وإنتاج مجموع خضـــرى غزير فى الأراضى الملوثة .

أحد الطرق التى تتبعها النباتات لزيادة مقاومتها للملوثات العضويــه هــو تحويل الملوثات إلى صورة أقل سميه فى منطقة الجذور حيث تفــرز جــذور النباتات مواد هى عبارة عن خليط من الســكريات والكحــولات والفينــولات والأحماض العضويه التى يتم استخدامها بواسطة ميكروبات التربه الموجــوده فى منطقة الجذور لتحويل الملوثات العضويه إلى صور أقل ســميه . وتبلــغ أعداد الميكروبات فى منطقة الجذور حوالى 10,000 – 100 ضعــف الأعــداد الموجودة فى التربه كما تحتوى منطقة الجذور أيضا على كائنات حية دقيقة لها مقدرة فريدة على إفراز إنزيمات تعمل على تحوير الملوثات العضويــه إلــى صور أقل سميه .

لقد وجد أن إفرازات الجذور من إنزيمات nitroreductases, dehalogenases لها أكبر الأثر في معالجة الأراضي والمياه الملوثه بالمركبات المكلورة مثل (TCE) ومخلفات الذخيرة (TNT) (Bayajian & Carreira, 1997)

إزالة سمية الملوثات العضويه في منطقة الجذور لا تكون فعاله بالنسبة لجميع المركبات وقد يكون معدل تحول الملوثات العضويه إلى مركبات غير سامه غير كافي لمنع إمتصاص النبات لهذه المركبات ولذلك فبعد امتصاص النبات لهذه الملوثات بواسطة الجذور يتم إنتقالها إلى السيقان ثم تفقد بالتطاير أو يتم تحويلها داخل النباتات خلايا العمليات الحيويه إلى مواد أقل سميه ثم تخزينها في فجوات الخلايا (Field & Thuriman, 1996) .

تثبيت الملوثات بواسطة النباتات Phytostabilization

وهذه التكنولوجيا تستخدم لمنع حركة وانتقال الملوثات العضويه وغير العضويه من التربه إلى المناطق المجاورة وإلى المياه الجوفيه . وتعتمد هذه التكنولوجيا على استخدام النبات كدعامه ميكانيكية لتثبيت التربه بواسطة جذور النباتات وبالتالي حماية سطح التربه من الفقد بواسطة التعريه بالرياح أو الماء كما أنها تقلل من معدل تسرب الملوثات إلى المياه الجوفيه عن طريق زيادة معدل النتح بواسطة النباتات المنزرعه .

- عملية تثبيت الملوثات بواسطة النباتات تتطلب أساسا تقسيه النباتات لتتحمل التركيزات العالية من الملوثات في التربه وايضا تتطلب نباتات ذات مجموع جذرى قوى ومتشابك فوق سطح التربه وذلك لوجود علاقة قويه بين حماية التربه من عوامل التعريه والغطاء النباتى للتربه .

تعتمد تكنولوجيا تثبيت الملوثـــات بواسـطة النباتـــات phytostabilization بالدرجة الأولى على مدى تحمل أنواع النباتات للملوثات . ويوجد عدد كبير من النباتات المتحمله لتركيزات عالية من العناصر الســـامه (Baker & Brooks, 1989) وأغلب هذه النباتات تم جمعها من مناطق التعدين والمناجم وإســـتخدام البعض منها فى إستصلاح مواقع المناجم المهجوره . أمـــا بالنســبة للمواقــع الملوثه بالملوثات العضويه فالخبرة فى استخدام النباتـــات لتثبيــت الملوثـــات العضويه مازالت ضعيفة .

بالإضافة إلى مشاكل التلوث فمعالجة مناطق التلوث قد تتوقف على مشــاكل فيزيائيه ومشاكل تغذيه أخرى (جدول 3-1) . والمعوقات الفيزيائيــه للمعالجــة النباتيه للأراضى الملوثه تشمل القوام الخشن جدا أو الناعم جدا للتربه ، ضعف البناء ودرجة الحرارة العالية أو المنخفضة جدا لسطح التربه . أمـــا مشـــاكل التغذية فتشمل نقص النيتروجين والفوسفور والكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم. أيضا درجة حموضة التربه العالية جدا أو المنخفضة جدا والملوحه قد يعوقـــان إنبات البادرات .

المشاكل السابق ذكرها يمكن أن تؤثر بدرجة كبيرة على استخدام النباتـــات فى تثبيت الملوثات خاصة فى المراحل الأولى لأنبات البادرات الضرورية لنمو الغطاء النباتى . الجدول رقم (3-1) يوضح المشاكل التى تواجه زراعة الغطــاء النباتى فى مواقع التلوث . ففى المراحل الأولى لزراعة الغطاء النباتى يجــب تحسين الخواص الفيزيائيه والكيميائيه لسطح التربه بإستخدام الرى والمحسـنات الطبيعية مثل المادة العضويه ، الأسمدة والجير .

أحد المتطلبات الأساسية لعملية تثبيت الملوثات هو سرعة إنشـــاء غطـــاء نباتى ويجب أن يتم ذلك بناءا على إنتقاء أنواع النباتات المتحمله لظروف ونوع

الملوثات الموجودة فى المنطقة المراد تثبيت الملوثات بها . وينصح لإنجاح هذه العملية أن يسبقها عمل تجارب صوبه يتبعها تجارب حقلية قصيرة الأمد آخذين فى الإعتبار نتائج التجارب السابقة فى المواقع المشابهة . ومـــن البديـــهى أن إنشاء غطاء نباتى سريع لابد وأن يعتمد على زراعة نباتات حوليه يتم تحويلـــها تدريجيا إلى زراعة أصناف مستديمة ويستحسن أن تكون حشائش لما لها مـــن مميزات كبيرة فى عملية تثبيت الملوثات . ايضا يوجـــد بعـــض أنـــواع مـــن الأشجار قادرة على النمو فى الأراضى ضعيفة الخصوبة ذات البناء الـــردىء ولأن معدل النتح فى هذه الأشجار يكون عالى فإن الأشجار فى هـــذه الحالـــة تعمل كحاجز يمنع غسيل الملوثات وإنتقالها إلى المياه الجوفيه أيضـــا إمتـــداد جذور الأشجار إلى أسفل عدة أمتار يعمل على تثبيت الملوثات ويمنع إنتقالـــها (Stomp et al, 1994) .

وإنشاء الغطاء النباتى فى الأراضى الملوثه له مميزات عديدة منها إضافـــة مواد عضويه طبيعية للتربه وتحسين البناء وحماية التربه من عوامل التعريـــه وزيادة نشاط الكائنات الحية الدقيقة وبالأخص تثبيـــت النيـــتروجين بواســـطة الأكتينومسينات والبكتريا التكافليه وما يتبعه من إمداد النباتات بإحتياجاتها مـــن النيتروجين .

وعملية تثبيت الملوثات تعتبر استراتيجية ليس الهدف منها إزالة الملوثـــات بالتربه وإنما تعمل على عزل الملوثات لفترة حتى يمكن تطوير تكنولوجيا إزالة الملوثات وإستخدامها بعد ذلك فى هذا الموقع لإزالة الملوثات منه نهائيا .

جدول (3-1) : مشاكل زراعة الغطاء النباتى فى مواقع التلوث وخيارات التغلب عليها

نوع المشكلة	الخاصية	المشكلة	المعالجة
فيزيائيه	القوام	خشن	إضافة مواد عضويه (أسمدة)
.		ناعم	إضافة مواد عضويه (أسمدة)
	البناء	منضغط	تفكيك السطح (خربشه)
		مفكك	تحسين البناء
	الرطوبه	إبتلال	صرف
تغذيـــه	النيتروجين	نقص	* تسميد نيتروجينى
			* تثبيت النيتروجين
	عناصر صغرى	نقص	تسميد بالعناصر الصغرى
سميـــه	pH	منخفض	إضافة جير
		عالى	إضافة ماده عضويه
	ملوحه	عاليه	زراعة نباتات مقاومه للملوحه
			غسيل
	العناصر غير العضويه	عالى / متحرك	نباتات مقاومه
			إضافة مادة عضويه
			تعديل حموضة التربه
	ملوثات عضويه	عاليه	نباتات مقاومه
			إضافة مادة عضويه

تقييد حركة الملوثات بواسطة النباتات Phytoimmobilization

تعرف phytoimmobilization بأنها التكنولوجيا التى تهدف إلى تقييد حركة الملوثات فى منطقة الجذور . وتعتمد ميكانيكية تقييد النباتات لحركة الملوثات فى التربه على ما يلى :

(i) إدمصاص وامتصاص الجذور للملوثات .
(ii) مساعدة النباتات فى ترسيب وتكوين مركبات ضعيفة الذوبان .
(iii) تغيير خواص التربه التى تؤثر على حركة الملوثات .
(iv) زيادة النشاط الميكروبى مما يؤدى إلى تقييد حركة الملوثات بواسطة الميكروبات (تثبت الملوثات بواسطة الميكروبات من خلال الإدمصاص والامتصاص – تخليق الميكروبات لمركبات قليلة الحركة وينتج عن ذلك أن تصبح الملوثات جزءا من دبال التربه) .

بالنسبة للملوثات غير العضويه

ميكانيكية تقييد الملوثات غير العضويه تشمل الامتصاص بواسطة الجذور وتفاعلات الأكسدة والأختزال مثل أختزال Cr (VI) السام إلى Cr (III) غير الذائب (James, 1996) . فلقد ثبت بواسطة الأشعة السينيه أن نبات الخردل Indian mustard [Brassica Juncea (L.)] له القدرة على إختزال عنصر Cr (VI) المتحرك والسام إلى صورة أقل سميه وغير متحركه مثل Cr (III) . أيضا تكون مركبات فوسفاتيه قليلة الذوبان فى منطقة الجذور يمكن أن يؤدى إلى تقييد حركة بعض العناصر السامه مثل الرصاص . فلقد ثبت وجود حبيبات معدن pyromorphite (فوسفات رصاص) فى منطقة جذور نبات Agrostis cappilaris (L.) المقاوم لعنصرى الزنك والرصاص عند زراعته فى أماكن تعدين الزنك والرصاص (Cotter – Howells & Caporn, 1996) .

ويجب التنويه أن خفض انتقال الملوثات غير العضويه من الجذور إلى السيقان تعتبر هامه جدا فى عملية تقييد حركة الملوثات وذلك لمنع إنتقال الملوثات ودخولها إلى السلسلة الغذائية ولذلك يجب التنبه لذلك عند إنتقاء النباتات المستخدمة فى هذه العملية .

بالنسبة للملوثات العضويه

تقييد حركة الملوثات العضويه فى التربه بواسطة النباتات يشمل أيضا الإمتصاص بواسطة الجذور والتثبيت الميكروبى ويمكن القول أن استخدام النباتات لتقييد حركة الملوثات العضويه فى التربه يطبق أساسا مع الملوثات العضويه التى تكون مركبات قليلة الذوبان أو المركبات التى تدمص بقوة على سطوح معادن الطين .

وتم تطبيق هذه التكنولوجيا (phytoimmobilization) فى بعض المواقع الملوثه مثل مناطق التعدين والمناطق المضاف إليها الحمأة بإستخدام بعض النباتات المقاومه للملوثات غير العضويه مثل F.rubra & Agtostis capillaris وأدى ذلك إلى تقييد حركة الزنك والكادميوم فى مواقع التلوث بنسبة 85% . ايضا العديد من الملوثات العضويه مثل PCB, chlordane والموجودة فى الحمأة أمكن تقييد حركتها بإستخدام نباتات Poplars (Populus hybridus L.) ، الذره وبعض الحشائش مثل Fescue (Schnoor et al. 1995) .

الإستخلاص بواسطة النباتات Phytoextraction

تتميز النباتات بمقدرتها على استخلاص العناصر الغذائية والمركبات العضويه الموجودة فى التربه بتركيزات منخفضة وتجميعها فى الساق والأوراق أو الجذور ولذلك فإن تكنولوجيا إستخلاص الملوثات بواسطة النباتات إستغلت هذه الخاصية لإستخدام النباتات كمضخة تعمل بالطاقة الشمسية

لإستخلاص الملوثات من التربه (Raskin et al. 1997) . ولإستخلاص كميات كبيرة من الملوثات يجب أن تكون النباتات المختارة لذلك ذات مجموع خضرى كبير وقادرة على إستخلاص كميات كبيرة من الملوثات ونقلها من الجذور إلى المجموع الخضرى الذى يتم حصاده والتخلص منه بطريقة مناسبة . وعلى ذلك تصبح العمليات الأساسية فى إستخلاص النباتات للملوثات هى إمتصاص الجذور ، إنتقال الملوثات وتجمعها فى المجموع الخضرى . ويمكن زيادة قدرة النباتات على إستخلاص الملوثات من التربه عن طريق تغيير الصفات الكيميائيه للتربه بإضافة المواد المخلبيه وكذلك زيادة نشاط الميكروبات والميكوريزى التى تعمل على زيادة حركة الملوثات وبالتالى زيادة إمتصاصها بواسطة الجذور .

إستخلاص الملوثات غير العضويه بواسطة النباتات
Phytoextraction of Pollutant Metals

إمتصاص وتجمع العناصر فى النباتات تم دراسته بصورة مكثفة بواسطة Baker وآخرون (1998) . فالعناصر الغذائية مثل Zn, Co, Mo, Mn, Cu, Fe تتواجد فى أنسجة النباتات بتركيزات قليلة ومع ذلك يوجد عدد كبير من النباتات تعرف بالنباتات المجمعه hyperaccumulators لها القدرة على تجميع العناصر مثل Mn, Cu, Zn, Ni بتركيزات عالية (0.1 – 5% من الوزن الجاف) فى أنسجتها دون أن يؤثر ذلك على نموها (Baker & Brooks 1998) ولقد تم إختبار مقدرة العديد من هذه النباتات على إزالة الملوثات غير العضويه من التربه بعمل تجارب صوبه وتجارب حقليه وأوضحت النتائج بجلاء نجاح النباتات المجمعه للعناصر فى معالجة الأراضى الملوثه . وعلى سبيل المثال استخدام نبات Alpine pennygrass فى التجارب الحقليه لإزالة الملوثات غير العضويه من التربه حقق نتائج جيدة حيث تمكن هذا النوع من إزالة الملوثات

من الموقع بعد زراعته لمدة 14 عاما متواصلة والمدة الطويلة التـــى تطلبتـــها عملية إزالة الملوثات من التربه بإستخدام النباتات توضح المشكلة التى تصاحب إستخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثـــه . حيـــث أن أغلـــب النباتـــات المستخدمة هى نباتات بريه عشبيه ذات مجموع خضرى قليل . وللتغلب علـــى هذه المشكلة يجب البحث وإنتقاء نباتات مجمعه للعناصر تتميز بسرعة النمـــو وإنتاج خضرى كثيف ومقدرة على تجميع العناصر فى المجموع الخضـــرى . كما يمكن أن يتم ذلك عن طريق نقل الصفات الوراثية للنباتـــات البريـــه إلـــى المحاصيل التى لها إنتاج خضرى كثيف عـــن طريـــق الهندســـة الوراثيـــة (Kumar et al, 1995) .

ولتوضيح مقدرة النباتات المجمعه للعناصر على إزالة الملوثات من التربـــه نورد مقارنة بين كمية الزنك التى يمكن إزالتها من التربه بإســـتخدام نباتـــات مجمعه للعناصر مثل Alpine pennygrass ونباتات غير مجمعه للعناصر مثـــل محاصيل الذره والخردل Indian mustard (جدول 3-2) .

جدول (3-2) : مقارنه بين مقدرة نبات مجمع للزنـــك Alpine pennygrass ونباتات غير مجمعه للزنك (ذره ـ خردل) على إســـتخلاص عنصر الزنك من الأراضى الملوثه .

	الزنك فى السيقان $mg\ kg^{-1}$	الوزن $t\ ha^{-1}$	الزنك المستخلص بواسطة النبات $kg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$
نبات غير مجمع للعناصر	500	10 [a]	5
نبات مجمع للعناصر	25,000	5	125

(a) تم إفتراض أن محصول النباتات غير المجمعه للعناصر انخفض بنســـبة 50% نتيجـــة ســـميه الزنك.

يتضح من الجدول السابق أن مقدرة النباتات المجمعه للزنك علـــى إزالـــة

الزنك من التربه يفوق بكثير مقدرة النباتات غير المجمعه للزنك علـــى إزالـــة الزنك من التربه على الرغم من محدودية وزنها (Chaney et al, 1997) .

أظهرت التجارب حديثا أن إضافة بعض المواد المخلبيه إلى التربه أدى إلى زيادة إنتقال عنصر الرصاص من الجذور إلى السيقان فى بعض النباتـات ذات الإنتاج الخضرى الكثيف مثل الذره والبسله . واتضـــح أن المـــادة المخلبيـــه Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ذات فعالية كبيرة فـــى مســـاعدة النباتات على إستخلاص كميات كبيرة من عناصر Zn, Pb, Ni, Cu, Cd مـــن الأراضى الملوثه . فعلى سبيل المثال إضافة EDTA 10 mmoles kg^{-1} إلى تربه تحتوى Pb 1200 mg kg^{-1} أدى إلى تجميع حوالى 1.6% Pb على أساس الـوزن الجاف فى سيقان نبات الخردل علما بأنه يمكن إضافة EDTA قبل الحصاد بعدة أيام ويكون فعالا . ولذلك فإستخدام المواد المخلبيه لزيادة إمتصـــاص النبـــات للعناصر يمكن توظيفها مع النباتات غير المجمعه للعناصر واستخدامها لإزالـــة الملوثات من التربه .

ويمكن تقسيم إستخلاص العناصر من الأراضى الملوثه بواسطة النباتـــات إلى قسمين أساسيين : (i) إمتصاص الجذور للعناصر ، (ii) إنتقال العناصر من الجذور إلى السيقان .

١. إمتصاص الجذور للعناصر

يرتبط جزء كبير من العناصر مع الجزء الصلب من التربه ولكى يتمكـــن النبات من إمتصاص العناصر لابد من أن تتحرك العناصر من الجزء الصلـــب إلى المحلول الأرضى ويمكن تحقيق ذلك عن طريق ما يلى :

(i) يفرز الجذر بعض المواد المخلبيه (phytosiderphores) إلـــى منطقـــة الجـــذور

rhizosphere لخلب وإذابة العناصر المرتبطة بالجزء الصلب من التربـــه . فعلى سبيل المثال حمضى mugenic acid, avenic acid فى منطقة الجـــذور لهما المقدرة على خلب وذوبان Mn, Cu, Fe, Zn من الجزء الصلـــب مـــن التربه .

(ii) يعمل الجذر على إختزال بعض العناصر المخلوبـــه بواســـطة إنزيمـــات إختزال غشاء البلازما فعلى سبيل المثال إخـــتزال Cu, Fe (III) بواســـطة Ferric – chelate reductase ضرورة حتمية لإمتصاص وإنتقـــال عنصـــر الحديد .

(iii) تعمل جذور النباتات على زيادة ذوبان العناصر فـــى منطقـــة الجـــذور وانتقاله إلى المحلول الأرضى عن طريق خفض حموضة التربه وهذا تـــم ملاحظته مع عنصر Fe (III) .

وبوجه عام يزيد نشاط العمليات الســـابقة بواســـطة فطـــر الميكوريـــزى والبكتريا. وعندما يحدث ذوبان للعناصر يتم إمتصاصها بواسطة الجذور عـــن طريق الانتشار والتدفق الكتلى والاعتراض الجذرى .

٢. إنتقال العناصر من الجذر إلى الساق

تتميز النباتات المجمعه للعنـــاصر hyperaccumulators بإرتفـــاع تركـــيز العناصر فى السيقان عنها فى الجذور بينما العكس صحيح فى النباتـــات غـــير المجمعه للعناصر non hyperaccumulator . فعند دخول العنصر إلـــى جـــذر النبات إما يتم إنتقاله إلى الساق أو يتم تخزينه فى الجـــذر . ويحـــدث إنتقـــال العناصر إلى الساق أساسا خلال الخشب xylem ومع ذلك فيمكن للعنـــاصر أن يتم توزيعها فى الساق عن طريق اللحاء phloem . فالعناصر بصفـــة عامـــه

تدخل إلى الجذر مع الماء عن طريق القشرة والاندودرمس endodermms تـــم إلى تجاويف الأوعيه الخشبية للجذر ثم تستمر صاعدة فى هذه الأوعيـــة إلـــى الساق والأوراق.

وإنتقال العناصر عبر الأوعيه الخشبية هى عملية معقدة ومع ذلك يبـــدو أن إنتقال أيونات العناصر وخاصة الكادميوم تعتمد بدرجة كبيرة علـــى الإنتقـــال الكتلى الناشىء من النتح . ولأن جدران خلايا الخشب ذات سعه تبادليه كاتيونيه عاليه فإنه من المتوقع لهذه الخلايا أن تخفض من حركة العناصر الكاتيونيه فى حين أن معقدات العناصر غير الكاتيونيه مثل نترات الكادميوم يمكنها أن تنتقـــل بسهولة . وعزل نترات النيكل من عصارة الخلايا الخشبية من النبات المجمـــع للنيكل sebertia acuminata يثبت الدور الهام الذى تلعبه الأحماض العضويه فى إنتقال العناصر من الجذر إلى الساق . كما تم ايضـــا إثبـــات دور الأحمـــاض العضويه فى إنتقال عنصر الكادميوم فى نبات الخـــردل B. Juncea باســـتخدام تقنيـــه حديثـــــة وهـــــى extended x- ray absorbance fine structure (EXAFS) (Salt et al., 1995) .

النباتات المستخدمه فى إستخلاص الملوثات غير العضويه

يوضح الجدول (3-3) بعض النباتات التـــى لـــها المقـــدرة علـــى تجميـــع وإستخلاص الملوثات غير العضويه . فعلى سبيل المثـــال أظـــهرت تجـــارب الصوب مقدرة بعض أنواع النباتات المقاومه للملوحة مثـــل Astragalus علـــى إستخلاص السيلينوم من الأراضى الملوثه . فالنوعين Astragalus bisculcatus , A. racemosus أظهرا مقدرة على إستخلاص 2- 3.6 kg ha^{-1} yr^{-1} سيلينوم مـــن تربه تحتوى على 20.5 mg kg^{-1} Se .

جدول (3-3) : أنواع النباتات المستخدمه فى إستخلاص الملوثات غير العضويه

أنواع النباتات	الملوثات غير العضويه
Thlaspi rotundifolium (L.) كبس الراعى	Pb
Thlaspi caerulescens	Cd, Zn, Pb, Ni
Brassica Juncea L. الخردل الهندى	B, Se, Pb, Cu Ni, Zn, Cd
Brassica rapa L. لفت	Cd, Zn,
Brassica oleracea L. كرنب	Cu, Ni, Pb, Zn
Brassica compestris L. مسترد صينى	Cu, Ni, Pb, Zn
Brassica carinata A. خردل خشبى	Cu, Ni, Pb, Zn
Brassica napus L. لفت سويدى روتاباجا	Cd, Cu, Ni, Pb, Zn
Brassica nigra المسترد الأسود	Cd, Cr(III), Cr(VI)
Helianthus annuus L. عباد الشمس	Cu, Ni, Pb, Zn
Zea mays L. ذره	Pb
Triticum aestivum L. قمح	Pb
Medicago Sativa L. برسيم حجازى	Se, (SO_4)
Sporobolus airoides	As, B, Mo, Se
Silene vulgaris	Cd, Zn, Co, Cu
Astragalus bisculatus	Se, (SO_4), As, B, Mo
Astragous incanus	B, Se
Atriplex semibacata R. Br قطف	B, Se
Festuca arundinacea	B, Se
Lycopersicon esculentum mill	Cd, Zn
Ambrosia artemisifolia L.	Pb
Nicotiana tabacum L. تبغ	Cu, Ni, Pb, Zn
Amaranthus hybrids L.	Cu, Ni, Pb, Zn
Populus hybridus L.(Aspen) صفصاف مهجن	Zn
Sorghum bicolor L.	Cu, Ni, Pb, Zn
Oryzopsis hymenoides	U, V

وحديثا تم إختبار بعض النباتات لإستخلاص العناصر المشعه فى الأراضى الملوثه وهذه الاختبارات أجريت فى المحاليل المغذيه وفى الصوبـــه وشـــملت أنواع من الحشائش والأشجار للتعرف على مقدرة هذه النباتات على تجمـــع ^{90}Sr , ^{137}Cs, U فى الجذور والسيقان (جدول 3-4) .

جدول (3-4) : النباتات التى تم إختبارها لإستخلاص العناصر المشعه من الأراضى

الملوثات	نوع النبات	
^{137}Cs , ^{90}Sr	صنوبر أصفر	Pinus ponderosa
^{137}Cs , ^{90}Sr	صنوبر مونتيرى	Pinus radiata
U	بنـــجر	Beta vulgaris L.
^{137}Cs , ^{90}Sr		Panicum virginatum
^{137}Cs , ^{90}Sr	شجر الصمغ الأحمر	Eucalyptus terticornis

إستخلاص الملوثات العضويه بواسطة النباتات

تم إختبار أنواع عديدة من النباتات للتعرف على مقدرتها على إمتصـــاص الملوثات العضويه من التربه (جدول 3-5) ووجد أن الكيماويات العضويه التـى تمتصها النباتات غالبا ما تكون مركبات كارهه للماء بدرجة متوسطة يـــتراوح معامل التجزئه لـــها للمـــاء والأوكتـــانول بيـــن 0.5-3 مثـــال ذلـــك atrazine nitrobenzene, TCE, . أما المركبات العضويه الكارهه للماء بدرجة كبيرة فهى ترتبط بالأغشية العضويه المحبه للماء ولا تتمكن من إختراق الأغشية الخلويه .

يتوقف إنتقال المركبات العضويه من الجذور إلى الســـيقان علـــى طبيعـــة المركب العضوى ففى دراسة على إنتقال ثمانية أنواع مـــن xenobiotics مـــن التربـــه إلـــى الجـــذور والســـيقان وجـــد أن مركبـــى octachlorobenzene, hexachlorobenzene يمكن إمتصاصهم بواسطة الأوراق أو الجذور ولكن لا

يحدث أى إنتقال لهذين المركبين من الجذور إلى السيقان أو العكس . بينما وجد أن مبيدى الحشـــائش chlorobenzene , trichloroacetic acid (TCA) يمكـــن إمتصاصهما عن طريق الأوراق والجذور وإنتقالهم من الجذور إلـــى الســـيقان والعكس (Schroll et al., 1994) .

جدول (3-5) : أنواع النباتات المستخدمه فى إستخلاص الملوثات العضويه

الملوثات	نوع النبات
Nitrobenzene, Atrrazine, Polychlorinated phenyles (PCP), Trichloro ethylene (TCE)	صفصاف مهجن Populus hybridus L.
Anthracene, TNT	فاصوليا Phaseolus vulgaris L.
TNT	Cyperus esculentus L.
Aniline, Phenol, Quinoline	فول الصويا Glycine max (L.)
Nitrobenzene, Dinitrobenzene 2, Chlorobi – phenyl	
TNT, RDX (hexahydro-1,3,5, trinitro. 1,3,5-triazine)	قمح Triticum aestivum L.
	ذره Zea mays L.
	برسيم حجازى Medicago sativa L.
	سبانخ Spinacea oleracea L.

تحلل الملوثات العضويه بواسطة النباتات phytodegradation

يعتبر إستخدام النباتات لتحلل الملوثات العضويـــه phytodegradation هـــو البديل لأستخدام المعالجة الميكربيولوجيه فى إزالة الملوثات العضويه من التربه . وقد أظهرت الدراسات مقدرة العديد من النباتات فى معالجة الأراضى الملوثه إلا أن ميكانيكية المعالجة لا تزال غير مفهومه تماما . وبوجه عام فإن تحلـــل الملوثات العضويه بواسطة النباتات يحدث نتيجة لما يلى :

١. تنشيط تحلل الملوثات العضويه فى التربه بواسطة الكائنات الحيه الدقيقة الموجوده فى منطقة الجذور Rhizosphere .
٢. تحلل الملوثات العضويه فى التربه بواسطة الإنزيمات المفرزه من النباتات.
٣. إمتصاص الملوثات العضويه بواسطة النباتات ويتبع ذلك تحولات كيميائيه تعمل على إبطال سميه الملوثات العضويه الأصليه وتحويلها إلى مركبات معدنيه فى خلايا النبات ويمكن أن تلعب الميكروبات داخل النبات دورا هاما فى ذلك .

١. تحلل الملوثات العضويه فى منطقة الجذور بواسطة الكائنات الحية الدقيقة

من الثابت الآن أن تحلل الملوثات العضويه يزيد فى الأراضى المزروعه بالمقارنه بالأراضى غير المزروعه ويعزى ذلك إلى أن إفرازات جذور النبات تلعب دورا هاما فى مساعدة بعض ميكروبات التربه ذات القدرة العالية على تحلل المواد العضويه على البقاء والقيام بوظائفها . مثال ذلك إفرازات الجذور من Phonolics (Catechin, Coumarin) تعمل كمصدر للكربون للكائنات الحيه الدقيقة القادرة على تحلل (Hedge & polycarbonated phenyles (PCP) . Fletcher, 1996)

أظهرت العديد من الدراسات تحلل عدد كبير من المركبات العضويه فى منطقة الجذور ولقد أوضح Ferro et al.(1994) زيادة معدنه PCP فى الأراضى المنزرعه بحشيشة القمح (Agropyron desrtorum) بينما أدى زراعة حشائش البرارى إلى زيادة معنويه فى إزالة الهيدروكربونات العطريه من التربه . (Aprill & Sims, 1990)

٢. تحلل الملوثات العضويه بواسطة إنزيمات النباتات

بالإضافه إلى المركبات العضويه التى تفرزها بعض النباتات لتحفيز النشاط

الميكروبى فى منطقة الجذور فإن النباتات تفرز ايضا بعض الإنزيمات التـــى تعمل على تحلل الملوثات العضويه (Schnoor et al., 1995) .

أظهرت التجارب الحقليه قدرة إنزيمـــى nitroreductase, Laccases علـــى تحلـــل مخلفـــات الذخـــائر مثـــــل triaminotoluene, dinitromono- TNT aminotouluene, كما أظهرت التجارب المعمليه قـــدرة إنزيـــم nitroreductase على تحلل مركبات النيترو العطريه وقدرة إنزيـــم nitrilase علـــى تحلـــل -4 chlorobenzonitrile وقـــدرة إنـــزيم dehalogenases علـــى تحلـــل TCE hexachloroethane, (Boyajan & Carreira, 1997, Wolfe et al., 1993) .

درجة تحرر الإنزيمات من النباتات إلى التربه غير مفهومه حتى الآن ولكن قياس فترة نصف العمر لهذه الإنزيمات يدل على أن هذه الإنزيمات تعمل علـى تحلل الملوثات العضويه فى غضون عدة أيام من انطلاقها من أنسجة النبـــات ويتوقف ثبات هذه الإنزيمات على درجة حموضة التربه ، والنشاط الميكروبـى فى التربه .

٣. إمتصاص النبات للملوثات العضويه وتحللها
Plant uptake and degradation

أظهرت الدراسات قدرة النباتات على تنشيط التحلـــل الحيـــوى للملوثـــات العضويه فى التربه وكذلك قدرة النباتات على إمتصاص ونقل نواتج تحلل هـذه الملوثات. أيضا الدراسات الحديثة أظهرت بوضوح قدرة النباتات على عمـــل تمثيل غذائى metabolize للملوثات العضويه . ويوضح الجـــدول رقـــم (9-6) أنواع النباتات التى تم اختبارها فى عملية تحلل الملوثات العضويه وفيما يلـــى نتائج بعض التجارب الخاصة بهذه الاختبارات :

١. تم دراسة التمثيل الغذائى لـ TCE (Trichloroethylene) فى نبات Poplars عن طريق تتبع النواتج الوسيطه فى النبات وأظهرت النتائج بوضوح قدرة النبات على معدنه وتحويل TCE إلى di-and trichloroacetic acid , trichloroethanol كما أظهرت النتائج ايضا قدرة خلايا النبات على تحويل نواتج التمثيل الغذائى الوسيطه إلى مركبات غير ذائبه وبالتالى الحد من سميتها .

٢. فى دراسة على تحلل Nitroglycerin بواسطة خلايا البنجر (Beta Vulgaris L.) أوضحت النتائج قدرة الخلايا على تحلل Nitroglycerin إلى glycerol dinitrate (GDN) وبالتالى إلى glycerol mononitrate (GMN) .

٣. أظهرت الدراسات على التمثيل الغذائى لـ Trinitrotoluene بواسطة نبات الفاصوليا (Phaseolus vulgaris L.) قدرة النبات على تحويل TNT من خلال عملية الأيض إلى aminonitrotoluene .

جدول (6-3) : النباتات المستخدمه فى تحلل الملوثات العضويه

نوع النبات		الملوثات
8 Perennial prairie grasses		PAHs
Hibiscus trionum L. الشبت		Atrazine
Abutilon theophrasti Med.		Metolachlor
Chenopodium berlandieri MOQ.		
Zea mays L. ذره		
Setaria glauca		
Hordeum jubatum L.		
Polygonum pennsylvanicum L.		
Conyza canadensis Cronquist		
Lepidium latifolium L.		
Nepeta cataria L.		
Carduus nutans L.		
Panicum capillare L.		
Amaranthus retroflexus L.		
Echinochloa crus-galli L. (P.B.)		
Kochia scoparia (L.) Schrader		
Lespedeza cuneata G. Don		TCE
Pinus taeda L.		
Paspalum notatum J. Fleugge		
Solidago sp.	قضيب الذهب	
Glycine max (1.) Merr	فول صويا	
Populus hybridus L.	صفصاف مهجن	Atrazine
Phaseolus vulgaris L.	فاصوليا	Anthrazene
Pinus sp.	صنوبر	Trichloro- ethylene,
Agropyron desertorum	حشيشة القمح	Pentachlorophenol
Elytrigia sp.		PCB F
Beta vulgaris L. (tissue culture)	بنجر	GTN
Myriophyllum sppicatum L.		TNT
Myriophyllum aquaticum (axenic)		
Myriophyllum roseus (hairy root culture)		
Populus trichocarpax		TCE
P.deltoides Torr. Et Gray		
Cyperus esculentus L.		TNT
Myriophyllum sp.		TNT

TCE , trichloroethylene, PAH, polyaromatic hydrocarbons, TNT, trinitrotoluene, GTN, nitroglycerin, PCB, polychlorinated biphenyls.

تطاير الملوثات بواسطة النباتات Phytovolatilization

Phytovolatilization هى إزالة ملوثات التربه العضويه وغـير العضويـه التى تكون مركبات متطايره بواسطة النباتات . والعمليات الرئيسية التى تتعلـق بتطاير الملوثات بواسطة النباتات تشمل :

(i) قيام النباتات بمساعدة الميكروبات على تحويل الملوثـات العضويـه إلـى مركبات متطايره .

(ii) الإختزال إلى عناصر متطايره

(iii) تخليق مركبات الميثيل وثنـائى الميثيـل المتطـايره لبعـض المعـادن والهاليدات.

ويعتبر وجود ونشاط بعض الإنزيمات المتخصصة لتحلل هـذه المركبـات ضرورى لأتمام التفاعلات الحيويه .

العناصر السامه Metals

١. أمكن الحصول على نباتات مقاومه للتركيزات العالية من الزئبق عن طريق الهندسة الوراثيه منها نبات Arabidopsis الذى يستطيع النمـو فـى بيئـه تحتوى على 100 Mg Hg ووجد أن مقاومة النبات للزنك ترتبـط إرتبـاط وثيقا بزيادة مقدرته على إختزال وتطاير الزئبق (Meager et al. 1995) .

٢. تم اختبار 15 نوع من المحاصيل بالنسبة لمقدرتها على تطـاير السـيلينوم (جدول 3-7) وأوضحت النتائج المقدرة الفائقة للأرز والبروكلى والكرنـب على تطاير السيلينوم بمعدلات سريعة تتراوح بين $1500 - 2500 g\ Se\ kg^{-1}$ DMd^{-1} وبإفتراض أن الوزن الكلى للمحصول فى المتوسط $5000\ kg\ ha^{-1}$

وفترة النمو $100\ d\ yr^{-1}$ يمكن القول أن هذه المحاصيل قادرة على إزالـــة السيلينوم بالتطاير بمقدار يتراوح بين $0.75 - 1.25\ kg\ Se\ ha^{-1}$ فى العـلم . وبإفتراض أن تركيز السيلينوم فى الأراضى شديدة التلوث هو $4.5\ mg\ kg^{-1}$ فإن كمية السيلينوم فى الهكتار لعمق 50 cm تكـــون حوالـــى 30 kg Se وبإستخدام معدل إزالة السيلينوم بالتطاير السابق ذكره فإن إزالة السـيلينوم من التربه الملوثه عن طريق التطاير يستغرق حوالى 30 عاما .

٣. تم إختبار نبات الخردل الهندى بالنسبة لمقدرته علـــى تطــاير الســيلينوم واقترحت ميكانيكية التطاير التى تشمل إختزال السيلينات (SeO_4^{-2}) إلـــى سيلينين (SeO_3^{-2}) ، سيلينيد (Se^{2-}) ثم تحولهما إلى سيلينيد ثنـــائى الميثيــل المتطاير . ويعتقد أن تحول السيلينات إلى الصوره العضويه المتطايره يتـم بواسطة إنزيمات مثل ATP-Sulfurylase .

الملوثات العضويه Organics

قدرة النباتات على إزالة الملوثات العضويه من التربه عن طريق التطـــاير أمكن إثباتها بالنسبة للمركب العضوى TCE (جدول 3-7) . أظهرت الأبحـــاث قدرة نبات Poplar hybrids على إمتصاص وأكسدة ونتح كميات كبــــيرة مـــن TCE (Strand et al., 1995) . أيضا أكثر من 10% من TCE المضـــاف إلـــى التربه تطاير من خلال أوراق نبات loblolly pine (Pinus taeda L.) .

جدول (7-3) : النباتات المستخدمه فى إزالة الملوثات بواسطة التطاير

الملوثات	نوع النبات
Trichloro-ethylene	Pinus taeda L.
	Lespedeza cuneata G.Don. برسيم
	Paspalum notatum Sweet حشيشة دالاس
	Solidago sp. قضيب الذهب
	Glycine max (L.) فول صويا
Hg^{2+}, methyl Hg	Transgenic Arabidopsis sp.
TCE	Populus trichocarpa x
Se	Allium ceap L. بصل
	Beta vulgaris L. بنجر
	Brassica oleracea botrytis L. كرنب
	Brassica oleracea capitata L. كرنب
	Cucumis sativus L. خيـــار
	Daucus carota L. جـــذر
	Hordeum vulgare L. شعير
	Lactuca sativa L. خـــس
	Lycopersicon esculentum Mill طماطم
	Medicago sative L. برسيم حجازى
	Oryza sativa L. الأرز
	Phaseolus vulgaris L. فاصوليا
	Solanum melongena L. باذنجان
	Zea mays L. ذره
Se	Brassica juncea L. خردل هندى

زيادة كفاءة المعالجة النباتيه للأراضى الملوثه

لتطوير وزيادة كفاءة النباتات فى معالجة الأراضى الملوثه يجـــب إتبــاع الخطوات التالية :

١. التعرف على الهدف (التربه والمناخ ونوع الملوثات) .

٢. إنتقاء النباتات التى يمكنها إزالة الملوثات .

٣. إختبار النباتات المختاره فى تجارب الصوب والتجارب الحقليــه للتعــرف على نقاط القوه والضعف فى هذه النباتات .

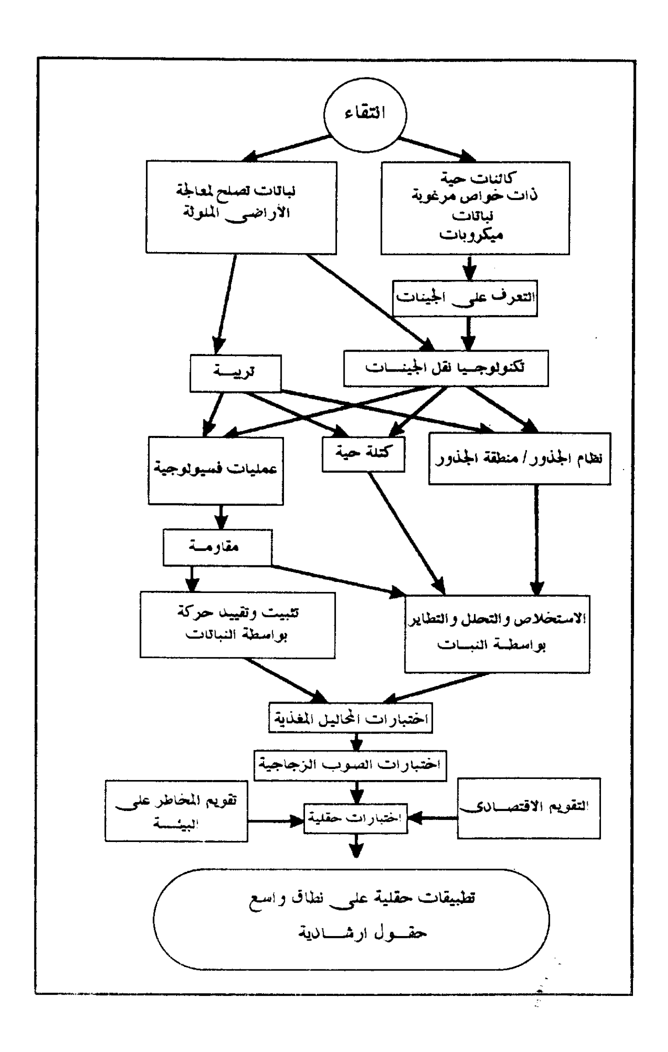
٤. دراسة العمليات الأساسية والميكانكيات المختلفة فــى تكنولوجيــا معالجــة النباتات للأراضى الملوثه .

٥. استخدام الهندسة الوراثيه لتحسين صفات المعالجة فــى النباتــات وأيضــا تحسين بيئة التربه لتصبح أكثر ملائمه لعمليات المعالجة النباتيه .

٦. إختبار التكنولوجيا المطورة .

٧. تقويم التكاليف الإقتصادية والبيئيه لهذه التكنولوجيا ومقارنتها بالإختيــارات الأخرى .

ويوضح الشكل رقم (3-3) الخطوات الضروريه لتطوير تكنولوجيا المعالجة النباتيه للأراضى الملوثه



شكل رقم (3-3) : الخطوات المقترحه لتطوير تكنولوجيا المعالجه النباتيه للأراضى الملوثه

وبصفة أساسية يجب التركيز على ثلاثة محاور لتطوير تكنولوجيا المعالجه النباتيه للأراضى الملوثه وهى :

أ. تحسين الصفات الجينيه ذات العلاقة فى النباتات المستخدمه فى المعالجة النباتيه مثل الشكل الخارجى للجذر وإفرازات الجذور وإنزيمات إزالة السميه وغيرها .

ب. تحسين ظروف بيئه التربه من الناحية الفيزيائيه والتغذيه لتصبح بيئه مثاليه لنمو النباتات المستخدمه فى المعالجة . أيضا إضافة بعض المواد المحسنه للتربه لزيادة صلاحية العناصر للإمتصاص بواسطة النباتات .

ت. ادارة العمليات الزراعية مثل ادارة المحصول والسيطرة على الحشائش والأمراض وتكنولوجيا الحصاد .

أ. تحسين صفات النبات Enhancement of plant properties

بصفه أساسية يمكن تحسين مقدرة النباتات على معالجة الأراضى الملوثه عن طريق التربيه والتهجين وأيضا عن طريق نقل الصفات المرغوب فيها بإستخدام الهندسة الوراثيه على سبيل المثال :

١. تحسين المجموع الخضرى للنباتات المجمعه للعناصر hyperaccumulator.
٢. تحسين إنتقال الملوثات من الجذور إلى السيقان .
٣. زيادة عملية إزالة سميه الملوثات داخل النباتات .
٤. تحسين المجموع الجذرى للنباتات عن طريق الهندسة الوراثيه لزيادة النشاط الميكروبى فى منطقة الجذور وبالتالى زيادة تحلل الملوثات فى التربه .

٥.تحسين صفات النباتات لزيادة قدرتها على تطاير عناصر مثل الزئبق والسيلنيوم والزرنيخ .

ب. تحسين بيئه التربه Soil conditioing

تؤثر خواص التربه بدرجة كبيرة على امتصاص النباتات للملوثات ولذلك فإن التحكم فى الخواص الفيزيوكيميائيه والبيولوجيه للتربه يمكن أن يلعب دوراً كبيراً فى المعالجة النباتيه للأراضى الملوثه . وتحسين ظروف بيئه التربه لزيادة كفاءة المعالجه النباتيه يمكن أن يتم عن طريق تعديل :

(i) كيمياء منطقة الجذور مثل درجة الحموضه ، الأكسدة والأختزال .
(ii) ميكروبولوجى منطقة الجذور مثل نوع ونشاط البكتريا والميكوريزى .

ويوضح الشكل (3-4) نموذج للعلاقات التى تحكم نظام الأرض والنبات ويمكن تحوير أو تعديل الصفات الكيميائيه والحيويه للأرض لكى تصبح أكثر ملائمه لنمو النباتات كما يلى :

١. إضافة الأحماض أو الجير أو المواد العضويه مباشرة يمكن أن يغير من الخواص الكيميائيه للتربه مثل pH ، الأكسدة والاختزال وتركيز المواد المخلبيه فى المحلول الأرضى وفى الجزء الصلب وهذا بالتالى يمكن أن يؤثر على صلاحية العناصر للنباتات والكائنات الحيه الدقيقة كما أن ذلك يمكن أيضا أن يؤثر على حركة وصلاحية الملوثات فى التربه .

٢. إضافة المواد المخلبيه الصناعية مثل DTPA , EDTA يمكن أن يؤدى إلى زيادة تركيز الملوثات غير العضويه Cd, Cu, Ni, Pb, Zn فى نباتات مثل الخردل الهندى .

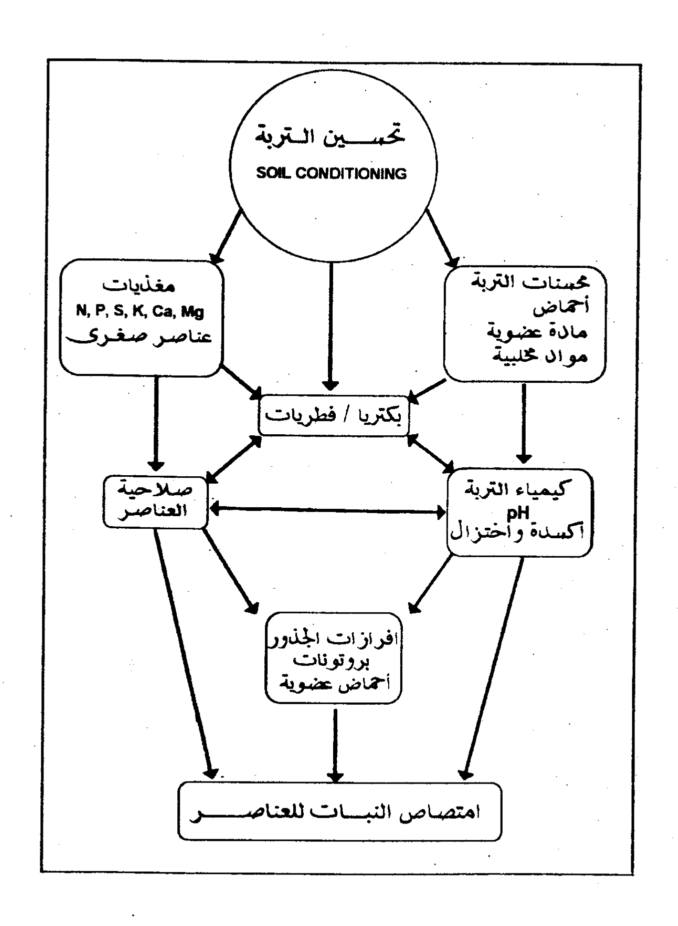
٣. إضافة العناصر المغذيه إلى التربه مثل K, N, P وهذا يتوقف على كمية

هذه العناصر ومدى صلاحيتها فى التربه وهذا بالتالى يمكن أن يؤثر على تحرر وأنطلاق البروتنات والأحماض العضويه بواسطة جـذور النبـات فعلى سبيل المثال إضافة $NH_4 - N$ إلى التربه يزيد من قدرة الجذور على تحرر البروتينات فى منطقة الجذور .

٤. زيادة المحصول عن طريق ادارة التربه حيث يجـب توفـير الظـروف الملائمه لنمو النباتات للحصول على أكبر نمو ممكن وهذا يعنـى توفـير التغذيه الملائمه والظروف الفيزيائيه الجيدة مثل البناء والاحتياجات المائيـه والحرث وإضافة الأسمدة العضويه .

ج. إدارة العمليات الزراعيه Cultural/ Management Practices

النباتات المختاره لمعالجة الأراضى الملوثه غالبا ما تكون نباتات بريه تنمو تحت ظروف شديدة القسوة ولا يوجد أى منافسة بينها وبين أنواع نباتيه أخرى. ولأن الأحتياجات البيئيه والغذائيه لهذه النباتات غير معروفه تمامـا وبـالقطع تختلف عن المحاصيل والأشجار المعروفه . فيجب تطوير تكنولوجيـا قـادرة على إدارة هذه الأنواع من النباتات عن طريـق التعـرف علـى إحتياجاتـها والظروف الملائمه لنموها .



شكل (3-4) : الخطوات الممكن إتخاذها لتحسين بيئة التربه

مميزات وحدود إستخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثه
Potentials and Limitations of Phytoremediation

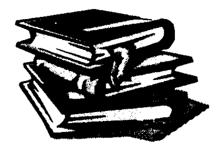
تعتبر تكنولوجيا استخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثه وسيله جذابه عندما تكون مخاطر استخدامها محدودة وتكون الملوثات متواجدة فى التربه فى منطقة الجذور وأيضا عندما يكون الزمن المطلوب لإزالة الملوثـــات كـــاف . وعند استخدام هذه التكنولوجيا يكون معدل إمتصاص النباتات للملوثات وايضـــا معدل تحلل النباتات للملوثات غالبا ما يزيد عن معدل إنتشار الملوثـــات إلـــى الجذور وبالتالى يصبح انتشار الملوثات فى منطقة الجذور هو العامل المحدد .

ويتحدد استخدام النباتات فى معالجة الأراضـــى الملوثـه تبعـا للســرعة المطلوب بها إزالة الملوثات ففى حالة ما يكون هناك موقـــع ملـــوث يتطلـب معالجته بسرعة لاعتبارات اقتصادية أو غيرها فإن اســـتخدام النباتـــات فـــى المعالجة يصبح أمراً غير مرغوب فيه . أيضا لا يجب إستخدام النباتـــات فـــى معالجة الأراضى الملوثه فى الحالات التى يكون فيها مخـــاطر تلــوث الميــاه الجوفيه عاليه .

تعتبر المساحات الواسعة من الأراضى الملوثه والتى غالبا ما تكون أراضى زراعية هى أنسب الأراضى لاستخدام تكنولوجيا المعالجه النباتيه ومثال ذلـــك الأراضى الزراعية فى أوروبا الشرقية والتى تلوثت بالعناصر الثقيلـــة نتيجـــة النشاط الصناعى والتعدينى فى الماضى فاستخدام التقنيات الأخرى فى معالجتها يكون مكلفا للغايه بالإضافه إلى أن هذه التقنيات ذات أثار سيئه على المكونـــات الحيويه للأراضى . واستخدام النباتات لمعالجة هذه الأراضى وإزالة الملوثـــات منها يجعل هذه الأراضى قادرة على إنتاج محاصيل الكساء والطاقه .

قدم Cunningham & Petri (1993) عدة خيـــارات لإســتخدام محـــاصيل النباتات المستخدمة فى معالجة الأراضى الملوثه . أفضل هذه الخيــارات هـــو إستخلاص العناصر من النباتات عن طريق تكنولوجيا التعدين والغســيل بعــد حرقها على درجة حرارة منخفضة وذلك فى حالة إحتواء النباتات على نســب عالية من المعادن . أما إذا كانت النباتات تحتوى على نســب منخفضـــة مـــن المعادن فإن التخلص من مخلفات حرق النباتات فى Landfills يصبح خيــارا لا بأس به خاصة اذا ما أمكن هضم digested هـــذه النباتـــات تحـــت الظـــروف اللاهوائيه . وفى حالة ما إذا كان استخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثه يتم عن طريق عملية التطاير فإن النباتات الناتجة تكون ذات محتوى منخفـــض من الملوثات وبالتالى يمكن استخدامها فى صناعات الورق والألياف . تكلفـــة استخدام النباتات فى معالجة الأراضى الملوثه إلى المستويات المحدده بواســطة هيئة حماية البيئه الأمريكيه أقل كثيرا من تكلفة استخدام التقنيات الأخرى فـــى المعالجة .

سميه النباتات المستخدمه فى معالجة الأراضى الملوثه للحيوانـــات البريـــه تعتبر عاملا محددا لهذه التكنولوجيا ولكن بإعتبار أن التربه الملوثه نفسها تعتبر خطرا داهما على البيئه وصحة الإنسان فإن مخاطر اســـتخدام النباتـــات فـــى المعالجة تعتبر محدده بوقت قصير ومقبوله بالإضافه إلى محاوله تطوير نظـــام يتم من خلاله حماية الحيوانات البريه خلال فترة المعالجة .



المراجـــع

Adriano et al., (1999). Bioremediation of Contaminated Soils. Agronomy Monogr. 37 ASA, CSSA and SSSA Madison, WI.

Adriano, D.C., Chlopecka, D. I. Kaplan, H. Clijsters, and J. Vangronsveld. (1997). Soil contamination and remediation. Philosophy, science and technology. P. 465–504. In R. Prost (ed.) Contaminated soils 3rd Int. Conf. On the biogeochemistry of Trace elements, Paris. 15-19 May 1995. INRA Press, Paris.

Alloway, B.J. (1995). Heavy metals in soils. Lackie & Son Ltd., London. and resistance to high levels of ionic mercury. P. 29-30. In Abstracts ot the 14th Annual Symp. On Current Topics in plant Biochemistry, Physiology and Molecular Biology : Will plants have a role in bioremediation ?, Columbia, Mo. 19-22 Apr. 1995. Interdisciplinary Plant Group, Univ. of Missouri, Columbia.

Aprill. W., and R . C. Sims. 1990. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil.Chemnpsphere 20: 253-265.

Baker, A.J.M., and R.R. Brooks. 1989. Terrestrial higher plants which accumulate metallic elements: Areview of their distribution, ecology, and Phytochemistry. Biorecovery 1:81-126.

Baker, A.J.M., McGrath, R.D. Reeves, and J.A.C. Smith. 1998. Metal hyperaccumulator plants : polluted soils. In N. Terry et al. (ed.) Phytoremediation. Ann Arbor, MI.

Baker, A.J.M., R.D. Reeves, and A.S.M. Hajar. 1994a. Hajar. Heavymetal accumulation and toleranc in British populations of the metallophyte Thlaspi caerulescens J. & C. Presl (Brassicaceae). New Phytol. 127:61-68.

Baker, A.J.M.,S.P. McGrath, C.M.D. Sidoli, and R.D. Reeves. 1994b. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. Resour. Conserv. Recycling 11:41-49.

Banuelos, G.S., G. Cardon, B. Mackey, J. Ben-Asher, L. Wu, P. Beuselinck, S. Akohoue, and S. Zambrzuski. 1993. Boron and selenium removal in boron-laden soils by four sprinkler irrigated plant species. J. Environ. Qual. 22:786-792.

Bell, P.F., D.R. parker, and A.L. Page. 1992. Contrasting selenate-sulfate interactions in selenium-accumlating nd nonaccumulating plant species. Soil Sci. Am. J. 56:1818-1824.

Borwn, S.L., R.L. Chaney, J.S. Angle, and A.J. M. Baker. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyper-accumulator Thlaspi caerulescens grown in nutrient solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:125-132.

Boulding, J.R. (1995). Soil vadose zone and ground-water contamination. CRC Press. Lewis Publ., Boca Raton, FL.

Bradshaw, A.D. (1989). The Quality of Topsoil Soil Use Mgmt. 5: 101-108.

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Brown, S.L., R.L. Chaney, J.S. Angle, and A. J. M. Baker. 1994. Phytoremediation potential of Thlaspi caerulescens and bladder campion for zinc and cadmium-contaminated soil. J. Environ. Qual. 23:1151-1157.

Brune, A. W. Urbach, and K.J.Dietz. 1994. Compartmentation and transport of zinc in barlcy primary leaves as basic mechanisms involved in zinc tolerance. Plant Cell. Env. 17:153-162.

Burken, J.G., and J.L. Schnoor. 1996. Phytoremediation:Plant uptake of atrazine and role of root exudates. J. Environ. Eng. 122:958-1406. by Pinus ponderosa and Pinus radiata seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. Environ. Pollut. 86:201-106.

Chaney, R.L., M. Malik, Y.M. Li, S.L. Brown, J.S. Angle, and A.J.M.

Baker. 1997. Phytoremediation of soil metals. Curr. Opinions Biotechnol. 8: 279-284.

Chang, A.C., H.Hyun and A.L. Page. (1997). Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sluge treated field plots : plateau or time bomb? J. Environ. Qual 26:11-19.

Cotter-Howells, J.D., and S. Caporn. 1996. Remediation of contaminated land formation of heavy metal phosphates. Appl. Geochem. 11:335-342.

Cunningham, S.D., and W.R. Berti. 1993. Remediation of contaminated soils with green plants : An overview. In Vitro. Cell. Dev. Biol. 29P:207-212.

Czarrowska, K, B, Gworek and T. Kozanecka (1983). Polish ecological studies. 9:81-95.

Davies, B.E and L.J. Roberts (1975). Sci. Total Eniron. 4 : 249-261.

Davies, B.E., D. Conway and S.Holt. 1979. J. Agric. Sci. 93:749-752.

Ebbs, S.D., D.J. Brady, and L.V. Kochian.1996. Heavy metal and uranium accumulation by grass and dicot species: Are hyperaccumulators required for phytoremediation ? In IBC Symp. On Phytoremediation, Arlington, VA. 8-10 May 1996. IBC, Arlington, VA.

Entry, J.A., and W.H. Emmingham. 1995. Sequestration of ^{137} Cs and ^{90} Sr from soil by seedlings of Eucalyptus tereticonis. Can J. For. Res. 25:1044-1048.

Entry, J.A., N.C. Vance, M.A. Hamilton, D. Zabowski, L.S. Watrud, and D.C. Adriano. 1996. Phytoremediation of soil contaminated with low concentrations of radionuclides. Water Air Soil Pollut. 88:167-176.

Entry, J.A., P.T. Rygiewicz, and W.H. Emmingham. 1993. Accumulation of cesium-137 and strontium-90 in ponderosa pine and monterey pine seedlings. J. Environ. Qual. 22:742-746.

Entry, J.A., P.T. Rygiewicz, and W.H. Emmingham. 1994. ^{90} Sr uptake

Fernandes, J.C., and F.S. Henriques. 1991. Biochemical, physiologicaal, and structural effects of excess copper in plants. Bot. Rev. 57:246-273.

Ferro, A.M., R.C. Sims, and B. Bugbee. 1994. Hycrest crested wheatgrass accelerates the degradation of pentachlorophenol in soil. J. Environ. Qual. 23:272-279.

Field. J.A., and E.M. Thurman. 1996. Glutathione conjugation and contaminant transformation. Environ. Sci. Technol. 30:1413-1418.

Finney, E.E. 1987. Impacts on soils related to industrial activities: II. Incidental and accidental soil pollution. P. 259-280. In H. Barth and P. L'Hermite (ed.) scientific basis for soil protection in the European Community. Elsevier Applied Science, London.

Fort, D.J., E.L. Srover, D. Norton. 1995. Ecological hazard assessment of aqueous soil extracts using FETAX. J. Appl. Toxicol. 15:183-191.

Foth. H.D. 1990. Fundamentals of soil science. 8th ed. Jhon Wiley & Sons, New York.

Francis, B. 1994. Toxic substances in the environment. Jhon Wiley & Sons, New York.

Goel, A., G. Kumar, G.F. Payne, and S.K. Dube. 1997. Plant cell biodegradation of a xenobiotic nitrate ester, nitroglycerin. Nature Biotechnol. 15:174-177.

Hocking, D., Pukucher, J.A. Plambech and R.A. Smith. (1978). J. Air Pollution. Control Association 28:133-134.

Howden, R., P.B. Goldsbrough, C.R. Andersen, and C.S. Cobbett. 1995a. Cadmium-sensitive, cadl mutants of Arabidopsis thaliana are phytochelatin deficient. Plant physiol. 107:1059-1066.

Huang, J.W., and S.D. Cunningham. 1996. Lead phytoextraction: Species variation in lead uptake and translocation. New Phytol. 134.

Hughes, J.B., J. Shanks, M. Vanderford,, J. Lauritzen, and R. Bhadra. 1997. Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures. Environ. Sci. Technol. 31:266-271.

Hutchinson, T.C. and L.M. Whitby (1974). Environ. Conserv. 1 : 123-132.

James, B.R. 1996. The challenge of remediating chromium-contaminated soils. Environ. Sci. Technol. 30:248A-251A.

Jones, K.C. 1991. Contaminant trends in soils and crops. Environ. Pollut. 69:311-325.

Juste, C., and C. Mench. 1992. In Biogeochemistry of Trace Metals, ed. Adriano D.C. Lewis Publishers, Boca Raton.

Kabatu-Pendias, A., and D.C. Adriano. 1995. Trace metals. P. 139-168. In J.E. Rechcigl (ed.) Soil amendments and environmental quality. CRC Press Boca Raton, FL.

Kumar, P.B. A.N., S. Dushenkov, H. Motto, and I. Raskin. 1995. Phytoextration : The use of plants to remove heavy metals from soils. Environ. Sci Technol. 29:1232-1238.

Margan, H and D.L. Sims. (1988). Sci. Total Environ. 75:135-143.

Meagher, R.B., and C. Rugh, D. Wilde, M. Wallace, S. Merkle, and A. O. Summers. 1995. Phytoremediation of toxic heavy metal ion contamination : Expression of a modified bacterial mercuric ion reductase gene in transgenic Arabidopsis confers reduction of

Meagher, R.B., and C. Rugh. 1996. Phytoremediation of mercury and methyl mercury pollution using modified bacterial ganes. In IBC Symp. On Phytoremediation, Arlington, VA. 8-10 May 1996. IBC, Arlington, VA.

Megharaj, M., D.R. Madhavi, C. Sreenivasulu. 1994. Biodegradation of methyl parathion by soil isolates of microalgae and cyanobacteria. Bull. Environ. Contam. Toxicalo. 53:292-297.

Miller, W.R. ; R.L. Donahue and J.U. Miller (1990). Soils. An Introduction To Soils and Plant Growth. Prentice - Hall International, Inc. N.J.

Negri, M.C., R.R. Hinchman, and E.G. Gatliff. 1996. Phytoremediation : Using green plants to clean up contaminated soil, groundwater, and wastewater. In IBC Symp. On Phytoremediation, Arlington, VA. 8-10 May 1996. IBC, Arlington, VA.

Newman, L.A., S.E. Strant, N. Choe, J. Duffy, G. Ekuan, M. Ruszaj, B.B. Shurtleff, J. Wilmorth, P. Heilman, and M.P. Gordon. 1997. Uptake and biotransformation of trichloroethylene by hybrid poplars. Environ. Sci. Technol. 31:1062- 1067.

Niragu, J.O. 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. Nature (London) 339:47-49.

Obata, H., N. Inoue, and M. Umebayashi. 1996. Effect of Cd on plasma membrane ATPase from plant roots differing in tolerance to Cd. Soil Sci. Plant Nutr. 42:361-366.

Ortiz, D, F., L. Kreppel, D.M. Speiser, G. Sheel, G. McDonald, and D.W. Ow. 1992. Heavy metal tolerance in the fission yeast requires an ATP-binding cassette-type vacuolar membrane transporter. EMBO 11:3491-3499.

Ortiz, D.F., T. Ruscitti, K.F. McKue, and D.W. Ow. 1995. Treanport of metal-binding peptides by HMTI, a fission yeast ABC-type vacuolar membrane protein. J. Biol. Chem. 270:4721-4728.

Preer, J.R., J.O. Akinto and J.L. Martin (1984). Biological Trace elements. 6:79-91.

Ragain, R.C., H.R. Falston and N. Roberts (1977). Environ. Sci. Technol. 11:773-781.

Raskin, I., R.D. Smith, and D.E. Salt. 1997. Phytoremediation of metals: Using plants to remove pollutants from the environment. Curr. Opin. Biotechnol. 8:221-226.

Rechcigi. J.E. (1995). Soil amendments and environmental quality. CRC Press. Boca Raton, FL.

Retena, J., D.R. Parker, C. Amrhein, and A.L. Page. 1993. Growth and trace element concentrations of five plant species grown in a highly saline soil. J. Environ. Qual. 22:805-811.

Rugh, C.L., H.D. Wilde, N.M. Stack, D.M. Thompson, A.O. Summers, and R.B. Meagher. 1996b. Mercuric ion reduction and resistance in transgenic Arabidopsis thaliana plants expressing a modified bacterial mer A gene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93 : 3182-3187.

Rugh, C.L., S.A. Merkle, and R.B. Meagher. 1996a. Effect of gene sequence modification on bacterial mercuric expression in transgenic plants. *In* IBC Symp. on Phytoremediation, Arlington, VA. 8-10 May 1996. IBC, Arlington, VA.

Salt, D.E. I.J. Pickering, R.C. Prince, D. Gleba, S. Dushenkov, R.D. Smith, and I. Raskin. 1997. Metal accumulation by aquacultured seedlings of Indian mustard. Environ. Sci. Technol. 31:1636-1644.

Schnoor, J.L., L.A. Licht, S.C. McCutcheon, N.L. Wolfe, and L.H. Carreira. 1995. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. Environ. Sci. Technol. 29:318-323.

Sims, D.L. and H. Morgan. 1988. Sci. Total Environ. 75:1-4.

Stomp, A.-M., K.-H. Han, S. Wilbert, M.P. Gordon, and S.D. Cunningham. 1994. Genetic strategies for enhancing Phytoremediation. Ann. NY Aced. Sci. 721: 481-492.

Swoboda-Colberg, N.G. 1995. Chemical contamination of the environment : sources types and fate of synthetic organic chemicals. P. 27-77. In Young and cerniglia (ed.). Microbial transformation and degradation of toxic organic chemicals. Thon Wiley & Sons. New York.

Terry, N. 1996. The use of phytoremediation in the clean-up of selenium polluted soils and waters. In IBC Symp. on Phytoremediation, Arlington, VA. 8-10 May 1996. IBC, Arlington, VA.

Terry, N., C. Carlson, T.K. Raab, and A.M. Zayed. 1992. Rates of selenium volatilization among crop species. J. Environ. Qual. 21:341-344.

Thurman, D.A., 1981. Mechanisms of metal tolerance in higher Plants. P. 239-249. In N.W. Lepp (ed.). Effect of heavy metal pollution on plants. Applied Science Publ., London.

U.S.E.P.A. 1985. Surface impoundment assessment national report USEPA. 440/5-84-029.

Vdzquez, M.D., C. Poschenreider, J. Barcel o, A.J.M. Baker, P. Hatton, and G.H. Cope. 1994. Compartmentation of zinc in roots and leaves of the zinc hyperaccumulator Thlaspi caerulescens JC Presl. Bot. Acta 107: 243-250.

Walton, B.T., and T.A. Anderson. 1990. Microbial degradation of trichloroethylene in the rhizosphere: potential application of biological remediation of waste sites. Appl. Environ. Microbiol. 56:1012-1016.

West, S.D., J.H. Weston and E.W. Day. 1988. Gas chromatographic determination of residue levels of the herbicides trifluralin, benefin, ethalfluralin, and isopropalin in soil with confirmation by mass selective detection. J. Assoc. off. Anal Chem. 71:1082-1085.

Wild, A. 1993. Soils and the environment. Cambridge Univ. Press, Cambridge.